

¡El libro sobre biología para todos!

Biología

PARA

DUMMIES®

Aprende a:

- Identificar y diseccionar las principales estructuras y funciones de los seres vivos
- Ponerte al día de los últimos descubrimientos sobre biología evolutiva, reproductiva y ecológica
- Pensar como un biólogo y utilizar métodos de investigación científicos

Rene Fester Kratz

Profesor de Biología y autora de libros de divulgación sobre biología

Donna Rae Siegfried

Escritora y profesora





Biología PARA **DUMMIES™**

Rene Fester Kratz y Donna Rae Siegfried

Traducción Alfredo García Espada

Índice

Portada

Las autoras

Dedicatoria

Agradecimientos

Introducción

Parte I. Fundamentos de biología

Capítulo 1: Explorar el mundo vivo

Capítulo 2: Cómo se estudia la vida

Capítulo 3: La química de la vida

Capítulo 4: La célula viva

Capítulo 5: Conseguir energía para que funcione el motor

Parte II. Reproducción celular y genética: hablemos de sexo

Capítulo 6: Divide y vencerás: la división celular

Capítulo 7: Mendel y la genética

Capítulo 8: El libro de la vida: el ADN y las proteínas

Capítulo 9: Ingeniería genética y tecnología del ADN

Parte III. Todo está relacionado

Capítulo 10: Biodiversidad y clasificación

Capítulo 11: Observar cómo se adaptan los organismos

Capítulo 12: Especies en evolución en un mundo cambiante

Parte IV. Sistemas y más sistemas: estructuras y funciones de los animales

Capítulo 13: Los principios de la fisiología

Capítulo 14: Los sistemas muscular y esquelético: hay que moverse

Capítulo 15: Los sistemas respiratorio y circulatorio: la vida fluye

Capítulo 16: Los sistemas digestivo y excretor de los animales: las cañerías del cuerpo

Capítulo 17: El sistema inmunitario: combatir las agresiones

Capítulo 18: Los sistemas nervioso y endocrino: mensajeros de lo extraordinario

Capítulo 19: El sistema reproductor: más y más animales

Parte V. No es fácil ser verde: estructura y funciones de los vegetales

Capítulo 20: La vida vegetal

Capítulo 21: La fisiología de las plantas

Parte VI. Los decálogos

Capítulo 22: Diez grandes descubrimientos de la biología

Capítulo 23: Diez maneras en que la biología influye en tu vida

Créditos

Te damos las gracias por adquirir este EBOOK

Visita Planetadelibros.com y descubre una nueva forma de disfrutar de la lectura

¡Regístrate y accede a contenidos exclusivos!

Próximos lanzamientos
Clubs de lectura con autores
Concursos y promociones
Áreas temáticas
Presentaciones de libros
Noticias destacadas

PlanetadeLibros.com

**Comparte tu opinión en la ficha del libro
y en nuestras redes sociales:**



Explora Descubre Comparte



La fórmula del éxito

Tomamos un tema de actualidad y de interés general, añadimos el nombre de un autor reconocido, montones de contenido útil y un formato fácil para el lector y a la vez divertido, y ahí tenemos un libro clásico de la serie *...para Dummies*.

Millones de lectores satisfechos en todo el mundo coinciden en afirmar que la serie *...para Dummies* ha revolucionado la forma de aproximarse al conocimiento mediante libros que ofrecen contenido serio y profundo con un toque de informalidad y en lenguaje sencillo.

Los libros de la serie *...para Dummies* están dirigidos a los lectores de todas las edades y niveles del conocimiento interesados en encontrar una manera profesional, directa y a la vez entretenida de aproximarse a la información que necesitan.



www.paradummies.es
www.facebook.com/paradummies
[@ParaDummies](https://twitter.com/ParaDummies)

¡Entra a formar parte de la comunidad Dummies!

El sitio web de la colección *...para Dummies* está pensado para que tengas a mano toda la información que puedas necesitar sobre los libros publicados. Además, te permite conocer las últimas novedades antes de que se publiquen.

Desde nuestra página web, también puedes ponerte en contacto con nosotros para comentarnos todo lo que te apetezca, así como resolver las dudas o consultas que te surjan.

En la página web encontrarás, asimismo, muchos contenidos extra, por ejemplo los audios de los libros de idiomas.

También puedes seguirnos en Facebook (www.facebook.com/paradummies), un espacio donde intercambiar tus impresiones con otros lectores de la colección *...para Dummies*.

10 cosas divertidas que puedes hacer en

www.paradummies.es y en nuestra página en Facebook

1. Consultar la lista completa de libros *...para Dummies*.
2. Descubrir las novedades que vayan publicándose.

3. Ponerte en contacto con la editorial.
4. Suscribirte a la Newsletter de novedades editoriales.
5. Trabajar con los contenidos extra, como los audios de los libros de idiomas.
6. Ponerte en contacto con otros lectores para intercambiar opiniones.
7. Comprar otros libros de la colección a través del link de la librería Casa del Libro.
8. ¡Publicar tus propias fotos! en la página de Facebook.
9. Conocer otros libros publicados por el Grupo Planeta.
10. Informarte sobre promociones, descuentos, presentaciones de libros, etc.

*Descubre nuestros interesantes y divertidos vídeos
en nuestro canal de Youtube:
www.youtube.com/paradummies
¡Los libros Para Dummies también están disponibles
en e-book y en aplicación para iPad!*

Las autoras

Rene Fester Kratz es profesora de biología celular y microbiología. Pertenece a la sociedad científica North Cascades and Olympic Science Partnership, en la que ayudó a crear cursos de aprendizaje investigativo para futuros profesores de ciencia. Kratz también es autora de *Molecular and Cell Biology For Dummies* ('Biología molecular y celular para Dummies') y *Microbiology The Easy Way* ('Microbiología fácil').

Donna Rae Siegfried ha publicado numerosos artículos sobre temas farmacológicos y médicos en revistas como *Prevention*, *Runner's World*, *Men's Health* y *Organic Gardening*. También ha sido profesora universitaria de Anatomía y Fisiología, y es la autora de *Anatomy & Physiology For Dummies* ('Anatomía y fisiología para Dummies').

Dedicatoria

En memoria de Cindy Fuller Kratz Berdan. Gracias por todo el apoyo que siempre me diste.

Rene Kratz

Agradecimientos

Gracias a Matt Wagner, de Fresh Books, Inc., por ayudarme (a Rene) a encontrar la oportunidad de trabajar en la segunda edición de este libro, y gracias a todo el equipo de Wiley que lo hizo posible: los editores Tim Gallan y Jennifer Tebbe, el lector profesional Erin Calligan Mooney, la coordinadora de arte Alicia South y los revisores técnicos Michael Pratt y Medhane Cumbay. Gracias también a Sheree Montgomery, la coordinadora de proyectos, y a Kathryn Born, que colaboró con las ilustraciones. En la parte familiar, gracias a mi esposo, Dan, y a mis hijos, Hueston y Dashiel, por todo su cariño y su apoyo.

Rene Kratz.

Introducción

La vida bulle a tu alrededor, desde las plantas y los microorganismos invisibles hasta los animales que comparten la Tierra contigo. Más aún, esos otros seres vivos no solo están a tu alrededor, sino que están estrechamente ligados a tu vida. Las plantas te proporcionan alimento y oxígeno, los microorganismos descomponen la materia orgánica muerta y reciclan materiales que necesitan todos los seres vivos, y los insectos polinizan las plantas que luego te comes. Así que todos los seres vivos dependen de otros seres vivos para sobrevivir.

La biología es genial porque te permite explorar las conexiones entre los organismos y comprender que los seres vivos son mitad obras de arte y mitad máquinas. Los organismos pueden ser tan delicados como una flor silvestre o tan impresionantes como un león de la sabana. Con independencia de que sean plantas, animales o microbios, todos los seres vivos contribuyen al funcionamiento de todo el organismo. Ya sean tan simples como un organismo unicelular o tan complejos como el ser humano, todos ellos obtienen energía, utilizan materia y generan residuos.

La biología es la clave para desvelar los misterios de la vida. A través de ella, descubrirás que incluso los organismos unicelulares tienen cierta complejidad, desde sus singulares estructuras hasta las variadas formas de desarrollar el metabolismo. La biología también te ayudará a tomar conciencia de los milagros que alberga el cuerpo humano, integrado por diversos sistemas, que interaccionan entre sí, de manera que hacen posible el transporte de materiales, el sostén y el movimiento del cuerpo, la transmisión de señales, la defensa frente a organismos invasores y la obtención de la materia y la energía que necesitas para vivir.

Sobre este libro

En *Biología para Dummies* examinamos las características que comparten todos los seres vivos y ofrecemos una visión general de los conceptos y procesos más destacados sobre esta cuestión. Nos ocupamos de analizar la forma en que los seres humanos satisfacen sus necesidades, pero también hablamos de otras muchas formas de vida que pueblan la Tierra.

Convenciones utilizadas en este libro

Para ayudarte a navegar por los contenidos de este libro, aplicamos las siguientes convenciones de estilo:

- ✓ La *cursiva* se utiliza para resaltar nuevas palabras o términos que se definen en el texto.
- ✓ La **negrita** marca los conceptos clave de una lista con viñetas o las acciones de una secuencia de pasos numerada.
- ✓ Las direcciones de internet se indican en `courier` para que sean más fáciles de distinguir.
- ✓ Los recuadros con fondo gris contienen información que es interesante conocer pero no estrictamente necesaria para entender el tema tratado en ese capítulo o sección.

Además, siempre que introduzcamos un término científico intentaremos dividirlo en partes según su etimología para que te resulte más fácil entenderlo y recordarlo.

Lo que no vas a leer

A lo largo del libro encontrarás varios recuadros grises y párrafos marcados con el icono “Cuestiones técnicas”. Los recuadros contienen historias o datos relacionados con el tema principal, y los párrafos con cuestiones técnicas profundizan en la explicación de un tema o un concepto. Ambos son

interesantes y divertidos de leer, pero en modo alguno son necesarios para entender la biología. Por lo tanto, sáltatelos si quieres o léelos por el gusto de hacerlo. ¡Tú eliges!

Suposiciones tontas

Cuando escribimos el libro, tratamos de imaginar quién eres y qué necesitas para entender la biología. Esto es lo que se nos ocurrió:

- ✓ Eres un alumno de secundaria que estudia biología, posiblemente como preparación para un curso avanzado o para el examen de acceso a la universidad. Si te cuesta seguir la clase de biología y el libro de texto no explica las cosas con claridad, lee primero el apartado correspondiente de este libro para adquirir una base y luego regresa al libro o a los apuntes.
- ✓ Eres un alumno universitario que no está cursando Ciencias Biológicas pero tiene una asignatura de biología como parte del plan de estudios. Si necesitas algo de ayuda para seguir las explicaciones de tu profesor, lee los apartados relevantes de este libro antes de asistir a una clase sobre un determinado tema. Si quieres grabar algún concepto en el cerebro, lee el apartado correspondiente después de clase.
- ✓ Simplemente quieres saber un poco más sobre el mundo vivo que te rodea. Enhorabuena, ¡has dado con el libro adecuado! Puedes leerlo a tu aire, empezando por el tema que más te interese. Para que tu interés no decaiga, te ofrecemos varios ejemplos de cómo la biología influye en la vida cotidiana.

Cómo está organizado el libro

El contenido de *Biología para Dummies* reproduce el orden de los temas tratados en una asignatura de biología típica. Igual que el resto de los libros de la colección *para Dummies*, todos los capítulos pueden leerse por separado, de

manera que puedes coger el libro cuando lo necesites e ir directamente a la parte que te interese en ese momento.

Nota: una vez que ya se ha tratado un tema, utilizamos esa información en temas posteriores. Si no lees el libro en orden, puede que alguna vez tengas que consultar determinada información en una sección anterior. En esos casos te remitimos al capítulo apropiado.

Parte I. Fundamentos de biología

Si la biología es el estudio de la vida y la vida es tan compleja, quizá te preguntes por dónde empezar. No te preocupes. En esta parte dividimos el campo de la biología en trozos más pequeños y fáciles de asimilar.

Primero echamos un vistazo general a los seres vivos y luego explicamos la forma exacta de estudiar la biología (pista: aquí es donde entra en escena el método científico). Luego hablamos de los tipos de moléculas que son importantes para el funcionamiento de una célula (sí, para eso hay que entender algunos conceptos básicos de química, ¡lo sentimos!).

Posteriormente nos centramos en la unidad básica de la vida: la célula. Todos los organismos, ya sea una persona, un perro, una flor, una bacteria o una ameba, tienen al menos una célula (en realidad la mayoría de ellos tienen millones de células). Por último, como las células necesitan energía para funcionar, explicamos de dónde viene esa energía.

Parte II. Reproducción celular y genética: hablemos de sexo

¿Cómo se forma un ser pluricelular a partir de dos simples células? ¡Mediante la reproducción celular, por supuesto! Las células pueden hacer copias exactas de sí mismas con el fin de repararse, crecer o producir descendientes que sean genéticamente idénticos a ella. En esta parte hablamos de todas esas cosas, y también de cómo algunos organismos utilizan la reproducción sexual para liar más las cosas, creando descendencia que presenta combinaciones de genes diferentes de las que tenían los progenitores.

Con independencia de si los organismos se reproducen por vía sexual o

asexual, los rasgos de los progenitores son visibles en sus descendientes porque les transmiten el ADN. Como verás en esta parte, el ADN contiene información para las proteínas que operan en las células y, por tanto, determina las características de la descendencia.

Parte III. Todo está relacionado

Todas las formas de vida que hay en la Tierra interaccionan entre sí (si no lo hicieran, la vida en este planeta correría grave peligro). En esta parte exploramos todas las maneras en que la vida de la Tierra está conectada, y cómo los biólogos clasifican los organismos. También verás que los seres vivos ya extinguidos están relacionados con los actuales a través de la evolución.

Parte IV. Sistemas y más sistemas: estructura y funciones de los animales

Muchos organismos responden a los cambios que tienen lugar en su entorno, ya que intentan mantener sus condiciones internas dentro de un rango que sea compatible con la vida. Los animales tienen diversos mecanismos que les permiten conservar el equilibrio. En esta parte del libro presentamos la mayoría de los sistemas en los que se basan la estructura y las funciones del cuerpo humano, así como los de otros animales. Estos sistemas y aparatos llevan a cabo muchos de los procesos vitales de los animales, por ejemplo la digestión, el movimiento, la circulación, el intercambio de gases y la defensa.

Parte V. No es fácil ser verde: estructura y funciones de las plantas

Con todo el revuelo formado por la vida animal, es fácil pasar por alto la vida vegetal. Sin embargo, las plantas tienen una importancia capital para la vida en la Tierra. Sin ellas no tendríamos nada que comer. Cuando estudies las plantas, descubrirás que, después de todo, son bastante interesantes. Igual que los animales, están formadas por células y tienen sistemas que transportan

materiales e intercambian materia y energía con el medio.

Parte VI. Los decálogos

Todos los libros de la colección *para Dummies* incluyen una parte llamada “Los decálogos”, con muchos datos divertidos e interesantes. En esta parte encontrarás diez grandes hallazgos de la biología y diez maneras en que la biología influye en tu vida.

Iconos utilizados en este libro

Utilizamos algunos iconos típicos de la colección *para Dummies* para orientarte en la lectura y para proporcionarte información adicional. Esto es lo que significa cada uno.



La información destacada con este icono son cosas que, a nuestro modo de ver, deberías almacenar de manera permanente en tu archivo mental sobre biología. Si quieres un resumen rápido de la biología, no tienes más que hojear el libro leyendo exclusivamente los párrafos marcados con este icono.



Los párrafos que hay junto a estos iconos proporcionan información adicional pero no son necesarios para comprender el material incluido en el capítulo. Si quieres profundizar en el conocimiento de la biología o si, sencillamente, quieres ampliar tu repertorio de datos interesantes, incorpora estos párrafos a la lectura. Si te basta con saber lo básico y no te preocupa la información no esencial, sáltatelos.



Este icono señala datos que te ayudarán a recordar mejor la

información aportada en una determinada sección.

Lo que tienes por delante

Tú decides por dónde empezar a leer. No obstante, tenemos algunas sugerencias:

- ✓ Si ahora mismo estás cursando la asignatura de biología y te cuesta entender un tema en particular, ve directamente al capítulo o sección donde se exponga el tema en cuestión.
- ✓ Si el curso acaba de empezar y utilizas este libro como ayuda, puedes ir avanzando por él a medida que vayáis tratando los temas en clase, con una pequeña excepción. En muchas asignaturas de biología se estudian primero las moléculas y luego las células, para pasar de lo más pequeño a lo más grande. Nosotras hemos preferido empezar con las células para darte una idea de dónde ocurre todo antes de pasar a estudiar las moléculas.

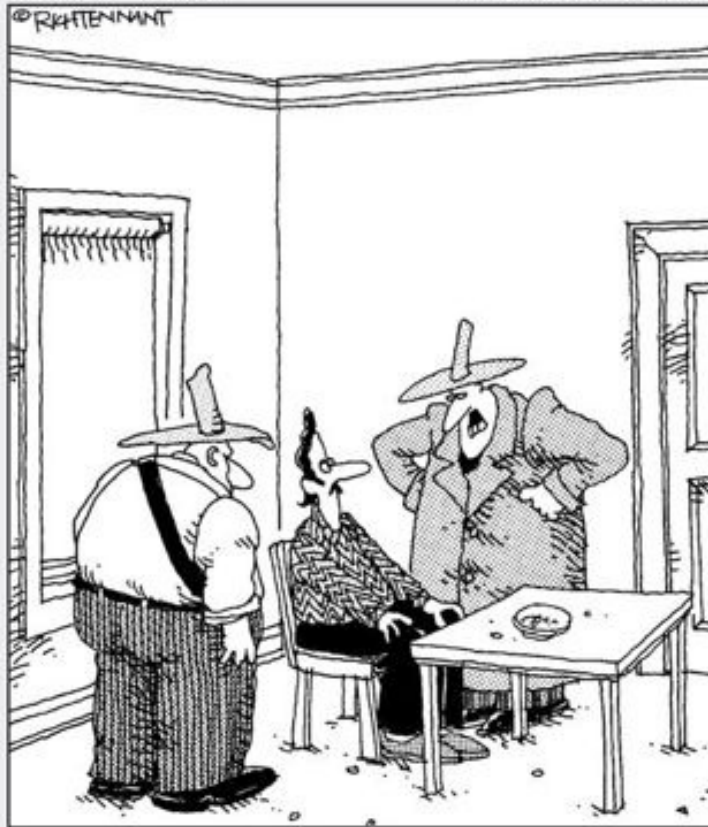
Sea cual sea tu caso, el sumario y el índice te ayudarán a encontrar la información que necesitas.

Parte I

Fundamentos de biología

The 5th Wave

Rich Tennant



—Mi amigo Juan aquí presente era profesor de Biología, de modo que si valoras en algo tu arco cigomático o tus arcos alveolares, más vale que empieces a hablar.

En esta parte...

La biología es la ciencia que estudia los seres vivos, cómo se reproducen, cómo cambian y responden a su entorno, y cómo obtienen la energía y la materia que necesitan para crecer. Uno de los objetivos de esta parte es sumergirte en el mundo de la biología para que entiendas el modo en que los biólogos estudian los seres vivos y conozcas los componentes químicos presentes en todas las formas de vida.

Los seres vivos pluricelulares, como tú, están formados por sistemas orgánicos, órganos, tejidos y células. Las células son las unidades más pequeñas que presentan todas las propiedades de la vida, así que empezaremos por ellas. El otro objetivo de esta parte es que te familiarices con la estructura de las células y con el modo en que obtienen la energía que necesitan para funcionar.

Capítulo 1

Explorar el mundo vivo

En este capítulo

- ▶ Ver que las células forman parte de todos los seres vivos
 - ▶ Descubrir de dónde vienen los niños y por qué tienes los rasgos que tienes
 - ▶ Comprender que todos los ecosistemas de la Tierra están interconectados
 - ▶ Estudiar la anatomía y la fisiología de los animales
 - ▶ Explorar las similitudes y las diferencias entre las plantas y las personas
-

La biología es el estudio de la vida; la vida que está presente en todos los rincones de nuestro planeta, desde el interior de la cueva más oscura hasta los desiertos más áridos, los procelosos océanos y las exuberantes selvas tropicales. Los seres vivos interaccionan con todos esos entornos y entre sí, formando redes complejas y conectadas. Para muchas personas, una caminata por el bosque o una excursión a la playa es una oportunidad de volver a conectar con el mundo natural y disfrutar de la belleza de la vida.

En este capítulo presentamos los grandes conceptos de la biología. Nuestro propósito es mostrarte que la biología está íntimamente relacionada con tu vida y ofrecerte un primer acercamiento a los temas que exploraremos con más detalle en posteriores capítulos de este libro.

Todo comienza con una célula

Rápido: ¿cuál es la unidad de vida más pequeña que te viene a la cabeza? (una pista: intenta recordar las propiedades básicas de la vida; si no sabes cuáles son, las encontrarás en el capítulo 2). A lo mejor estás pensando en hormigas, amebas o bacterias, pero esa no es la respuesta correcta. La unidad de vida más pequeña que existe es una célula aislada.



Todo lo que ocurre en un organismo y todas sus acciones son posibles gracias a la intervención de sus células, con independencia de si ese organismo es una bacteria *Escherichia coli*, que es unicelular, o un ser humano, formado por unos 10 trillones de células.

Naturalmente, el número de células que tienes no es la única diferencia entre tú y la bacteria *E. coli*. La estructura de vuestras células es un poco diferente, ya que las humanas tienen compartimientos internos más especializados, por ejemplo el núcleo donde se encuentra el ADN (la estructura de las células se explica en el capítulo 4). Con todo, también existen similitudes entre vosotros. Tanto tú como la bacteria *E. coli* estáis hechos de las mismas materias primas (en el capítulo 3 verás cuáles son) y tenéis ADN como material genético (más información sobre el ADN en el capítulo 8). Además, los dos metabolizáis los alimentos (esto se trata en el capítulo 5) y fabricáis las proteínas (y esto en el capítulo 8) exactamente igual.

La vida engendra vida: reproducción y genética

Tú viniste a la vida como una célula única, cuando un espermatozoide de tu padre penetró en un óvulo de tu madre. Tus padres fabricaron esas células reproductoras mediante una forma especial de división celular llamada meiosis (la meiosis se explica con detalle en el capítulo 6). Cuando sus células reproductoras se combinaron, cada uno de tus progenitores aportó la mitad de tu información genética: 23 cromosomas de tu madre y 23 de tu padre para un

total de 46 cromosomas en cada una de tus células. Los genes de esos 46 cromosomas determinaron tus características, desde tu aspecto físico hasta las enfermedades que quizá puedas desarrollar en la vejez. La ciencia de la genética analiza la herencia biológica y estudia el modo en que esta determina ciertas características (ver el capítulo 7). La genética explica por qué tu piel es de un determinado color o por qué compartes algunos rasgos con tus familiares.



Los genes están en el ADN, que a su vez se encuentra en los cromosomas. Cada cromosoma se compone de muchos trozos de información diferente que contienen las instrucciones para las moléculas *obreras* de tus células (en su mayoría, proteínas). Todos los tipos de células que tienes utilizan las especificaciones contenidas en los genes para fabricar las proteínas necesarias para desempeñar sus respectivas funciones. Pero, ¿qué significa exactamente todo esto? En palabras sencillas: el ADN determina tus rasgos porque contiene las instrucciones para las moléculas obreras (proteínas) que producen dichos rasgos.

Los científicos están descubriendo cada vez más cosas sobre el ADN, y también desarrollan herramientas que permitan leer y alterar el ADN (se trata en el capítulo 9). Lo más seguro es que, sin saberlo siquiera, ya estés experimentando las consecuencias del trabajo de los científicos con el ADN. ¿Por qué? Porque los científicos utilizan la *técnica del ADN recombinante* para modificar organismos empleados en alimentos y medicinas. Esta técnica permite coger genes de un organismo e introducirlos en las células de otro, cambiando así las características del organismo receptor. Por ejemplo, los científicos modifican células de bacterias con genes humanos para convertirlas en minúsculas fábricas orgánicas que produzcan algunas proteínas humanas necesarias para tratar enfermedades.

Conexión entre ecosistemas y evolución

Como verás en el capítulo 10, la enorme diversidad biológica de la Tierra

contribuye a que la vida continúe a pesar de los cambios ambientales. Cada tipo de organismo desempeña un papel en el medio y todos están conectados entre sí. Los organismos verdes como las plantas combinan energía y materia para elaborar el alimento que sustenta a todas las formas de vida; los depredadores cazan presas; y los descomponedores, por ejemplo las bacterias y los hongos, reciclan la materia orgánica, que así vuelve a estar disponible para otros seres vivos (en el capítulo 11 encontrarás más información sobre la conexión de todos los seres vivos de la Tierra).

Los seres humanos formamos parte del mundo natural e, igual que el resto de los seres vivos, consumimos recursos del medio y generamos residuos. Sin embargo, la especie humana tiene la habilidad particular de utilizar tecnología para aumentar su radio de acción, con lo que hace un uso intensivo de los recursos naturales de la Tierra y altera el medio para satisfacer sus necesidades. La población humana ha ocupado la mayor parte del planeta y continúa creciendo.

El problema es que, al consumir cada vez más recursos de la Tierra, estamos dificultando las condiciones de vida de muchas otras especies y, posiblemente, empujándolas a la extinción. La gran lección de la evolución biológica (un tema que tratamos en el capítulo 12) es que las poblaciones, además de cambiar con el tiempo, pueden llegar a extinguirse. El desafío al que nos enfrentamos los seres humanos consiste en hallar formas de conseguir lo que necesitamos sin causar perjuicios a los ecosistemas del planeta.

Anatomía y fisiología de los animales

Todos los animales se esfuerzan por mantener la *homeostasis* (el equilibrio interno) al producirse cambios en su entorno (en el capítulo 13 encontrarás más información sobre la homeostasis). En un animal pluricelular complejo como tú, todos los sistemas orgánicos tienen que colaborar para mantener la homeostasis.



Aquí tienes un resumen de los sistemas y aparatos orgánicos humanos, lo que hacen y de qué se componen:

- ✓ **Sistema esquelético.** Tiene una función de soporte, ayuda al movimiento y forma células sanguíneas. Se compone de los huesos y las articulaciones (capítulo 14).
- ✓ **Sistema muscular.** Hace posible el movimiento. Se compone de músculos esqueléticos (también llamados estriados) y músculos lisos (capítulo 14).
- ✓ **Sistema respiratorio.** Capta oxígeno y expulsa dióxido de carbono. Se compone de los pulmones y las vías respiratorias (capítulo 15).
- ✓ **Sistema circulatorio.** Transporta materiales. Se compone del corazón, la sangre y los vasos sanguíneos (capítulo 15).
- ✓ **Aparato digestivo.** Absorbe nutrientes y agua, y elimina residuos. Se compone del estómago, los intestinos, el hígado y el páncreas (capítulo 16).
- ✓ **Aparato excretor.** Mantiene el equilibrio hídrico y electrolítico en el cuerpo y elimina residuos. Se compone de los riñones y la vejiga (capítulo 16).
- ✓ **Sistema tegumentario.** Sirve como primera línea de defensa contra las infecciones. Lo forma la piel (capítulo 17).
- ✓ **Sistema inmunitario.** Defiende de los invasores externos. Se compone del timo, el bazo y los ganglios linfáticos (capítulo 17).
- ✓ **Sistema nervioso.** Controla las funciones del cuerpo por medio de señales eléctricas. Se compone del cerebro, la médula espinal y los nervios (capítulo 18).
- ✓ **Sistema endocrino.** Produce hormonas que controlan las funciones corporales. Se compone de las glándulas (capítulo 18).
- ✓ **Aparato reproductor.** Es el responsable de la reproducción sexual. Se compone de los ovarios, las trompas de Falopio, el útero, el cuello

uterino, la vagina y la vulva, en las mujeres, y de los testículos, la bolsa escrotal, el conducto deferente, la glándula prostática, las vesículas seminales y el pene, en los hombres (capítulo 19).

Plantas y personas

A primera vista las plantas parecen muy diferentes de las personas, pero, en realidad, ambos ocupan ramas muy próximas en el árbol de la vida. Tanto los seres humanos como las plantas se reproducen por vía sexual, es decir, producen descendencia mediante la fusión de espermatozoides y óvulos que contienen la mitad del material genético de los progenitores (en el capítulo 20 encontrarás más información sobre la manera en que se reproducen las plantas). También como tú, las plantas cuentan con sistemas para trasladar materiales por su organismo (más información al respecto en el capítulo 21) y las diversas funciones se controlan mediante hormonas.

Naturalmente, las plantas también presentan grandes diferencias con respecto a los seres humanos. La más importante de todas es que fabrican su propio alimento a partir de dióxido de carbono, agua y energía procedente del sol, mientras que los humanos tenemos que comer otros organismos para sobrevivir. Como subproducto residual de la producción de alimento, las plantas liberan oxígeno. Los seres humanos inhalamos oxígeno y devolvemos el favor exhalando dióxido de carbono que las plantas aprovechan para fabricar más alimento (en el capítulo 5 hablamos de la fotosíntesis y la respiración, y de cómo tiene lugar este intercambio gaseoso entre personas y plantas).

Capítulo 2

Cómo se estudia la vida

En este capítulo

- ▶ Estudiar la vida
 - ▶ Utilizar las observaciones para resolver los misterios de la vida
 - ▶ Comprender que la ciencia está en continuo cambio
 - ▶ Saber dónde consultar investigaciones científicas y sus conclusiones
-

La biología no habría llegado muy lejos como ciencia si los biólogos no hubieran utilizado procesos estructurados para llevar a cabo sus investigaciones y no hubieran compartido con otras personas los resultados de esas investigaciones. Este capítulo explora las características que diferencian a las cosas vivientes de las no vivientes que hay en la naturaleza, y además te presenta los métodos utilizados por los científicos (ya sean biólogos, físicos o químicos) para investigar el mundo que los rodea, así como las herramientas con las que comunican lo que han descubierto.

Los seres vivos: por qué los biólogos los estudian y qué los define

Los biólogos quieren saber todo lo posible sobre los seres vivos, lo cual comprende:

- ✓ La estructura y el funcionamiento de todos los seres vivos del planeta Tierra.
- ✓ Las relaciones entre los seres vivos.
- ✓ De qué forma los seres vivos crecen, se desarrollan y se reproducen; en eso se incluye el modo en que el ADN, las hormonas y las señales nerviosas regulan tales procesos.
- ✓ Las conexiones entre los seres vivos, así como las que se establecen entre los seres vivos y su entorno.
- ✓ Cómo los seres vivos cambian con el tiempo.
- ✓ Cómo cambia el ADN, cómo se transmite de un ser vivo a otro y cómo controla la estructura y el funcionamiento de los seres vivos.

Un ser vivo individual se denomina *organismo*. Los organismos forman parte de la naturaleza; están hechos de los mismos elementos que estudian la química y la geología, y cumplen las mismas leyes universales que estudia la física. La diferencia entre las cosas vivientes y las no vivientes es que las primeras, como su propio nombre indica, están vivas. Definir la vida no es fácil, pero los biólogos han encontrado una forma de hacerlo.



Todos los organismos comparten ocho características concretas que definen las propiedades de la vida:

- ✓ **Los seres vivos están hechos de células que contienen ADN.** Una *célula* es la parte más pequeña de un organismo que posee todas las propiedades de la vida. Dicho de otro modo: es la unidad más pequeña que está viva. El *ADN*, siglas de *ácido desoxirribonucleico*, es el material genético, en el que se encuentran las instrucciones para la estructura y el funcionamiento de las células (en el capítulo 4 encontrarás abundante información sobre las células, las vegetales y las animales, y en el capítulo 3 hablamos sobre la estructura del ADN).
- ✓ **Los seres vivos mantienen un orden dentro de sus células y su organismo.** Que todo tiende a volverse aleatorio es una ley física

universal, según la cual, si construyes un castillo de arena, con el tiempo acabará derrumbándose. Los castillos no se construyen ni se reparan por sí solos de repente para organizar todas las partículas en una estructura compleja. Los seres vivos, sin embargo, no se caen a trozos mientras permanecen con vida. Constantemente gastan energía para reconstruirse y repararse, gracias a lo cual permanecen vivos (en el capítulo 5 explicamos de dónde sacan los seres vivos la energía que necesitan para mantenerse).

- ✓ **Los seres vivos regulan sus sistemas.** Los seres vivos mantienen las condiciones internas necesarias para la vida. Aunque el entorno cambie, los organismos intentan mantener esas condiciones internas dentro de los límites que pueden soportar. Piensa en lo que ocurre cuando sales a la calle sin chaqueta un día que hace frío. Tu temperatura corporal empieza a descender y tu cuerpo responde trasladando sangre de las extremidades al tronco con el fin de frenar la transferencia de calor al aire circundante. Puede que también te eches a temblar para generar más calor corporal. Estas respuestas mantienen tu temperatura interna dentro de unos límites que te permiten sobrevivir aunque la temperatura exterior sea baja. (El proceso mediante el cual los seres vivos mantienen su equilibrio interno se llama *homeostasis*; encontrarás más información al respecto en el capítulo 13.)
- ✓ **Los seres vivos responden a las señales del entorno.** Si te acercas a un pedrusco y le gritas con todas tus fuerzas, no observarás ninguna reacción por su parte. Pero si haces eso mismo con un amigo tuyo o con una rana, probablemente pegará un buen salto. La razón es que los seres vivos tienen sistemas que les permiten percibir diversos tipos de señales y responder a ellas. Muchos animales perciben su entorno a través de los cinco sentidos, igual que tú, pero incluso organismos muy diferentes de nosotros, como plantas y bacterias, son capaces de percibir estímulos y responder a ellos. (¿Te has fijado en que las plantas se curvan y crecen en dirección al sol? Entonces has visto una de las respuestas activadas por una célula vegetal al detectar la presencia de luz.) ¿Quieres saber más sobre los sistemas que ayudan a las plantas y a los animales a responder a las señales? En el capítulo 18 hablamos del sistema nervioso

de las personas y en el capítulo 21 encontrarás todo lujo de detalles sobre las hormonas de las plantas.

- ✓ **Los seres vivos transfieren energía de unos a otros y también entre ellos y su entorno.** Los seres vivos necesitan un suministro constante de energía para crecer y mantener un orden interno. Organismos como las plantas captan la energía luminosa del sol y la utilizan para fabricar moléculas que les sirven de alimento y contienen energía química. Luego las plantas, y otros organismos que se comen las plantas, transfieren esa energía química de los alimentos a los procesos celulares. Cuando los procesos celulares tienen lugar, devuelven esa energía al medio en forma de calor (en el capítulo 11 explicamos mejor la forma en que la energía se transfiere de un ser vivo a otro).
- ✓ **Los seres vivos crecen y se desarrollan.** Tú viniste a la vida como una única célula. Esa célula se dividió para formar nuevas células, que continuaron dividiéndose una y otra vez. Ahora tu cuerpo está formado por cien billones de células, aproximadamente. Cuando tu cuerpo creció, las células recibieron señales que las hicieron cambiar y especializarse: de ahí surgieron las células de la piel, las del corazón, las del cerebro, etc. Tu cuerpo se desarrolló conforme a un plan concreto, con una cabeza en un extremo y una *cola* en el otro. El ADN de las células controló todos esos cambios a medida que tu cuerpo iba desarrollándose (en el capítulo 19 explicamos los cambios que ocurren en las células animales cuando crecen y se desarrollan).
- ✓ **Los seres vivos se reproducen.** Las personas tienen bebés, las gallinas tienen polluelos y los hongos mucilaginosos tienen hongos mucilaginosos. Cuando los organismos se reproducen, transmiten copias del ADN a su descendencia para asegurarse de que esta adquiere algunos de los rasgos de los progenitores (en el capítulo 16 explicamos con pelos y señales el modo en que los animales, en particular los seres humanos, fabrican más animales).
- ✓ **Los seres vivos tienen rasgos que han evolucionado a lo largo del tiempo.** Los pájaros vuelan, pero la mayoría de sus parientes próximos (los dinosaurios) era incapaces de tal hazaña. Las plumas más antiguas

de las que tiene noticia el registro fósil se encontraron en un dinosaurio llamado *Archaeopteryx*. No se han encontrado aves ni plumas en ningún resto fósil más antiguo que los restos de *Archaeopteryx*. A partir de este tipo de observaciones, los científicos pueden inferir que tener plumas es un rasgo que no siempre ha estado presente en la Tierra, sino que apareció en un momento determinado de la historia. Así pues, los pájaros actuales tienen características que se han desarrollado a través de la evolución de sus ancestros (en el capítulo 12 te proporcionamos las nociones básicas sobre la teoría de la evolución).

Encontrar sentido al mundo a través de la observación

El auténtico meollo de la ciencia no es tener un puñado de datos, sino el método que utilizan los científicos para recopilar esos datos. La ciencia consiste en explorar la naturaleza haciendo observaciones con los cinco sentidos e intentando extraer significado a esas observaciones. Los científicos, entre ellos los biólogos, echan mano de dos planteamientos para encontrarle sentido a la naturaleza:

- ✓ **Ciencia naturalista.** Cuando los científicos observan los seres vivos, están aplicando la *ciencia naturalista*, también llamada ciencia del descubrimiento. Se trata de estudiar la naturaleza y buscar pautas que conduzcan a posibles explicaciones de cómo funcionan las cosas (estas explicaciones se llaman *hipótesis*). Si un biólogo no quiere alterar el hábitat de un organismo, puede valerse de la observación para descubrir cómo vive un determinado animal en su entorno natural. Realizar observaciones científicas útiles exige tomar notas detalladas sobre las costumbres del animal durante un largo período de tiempo (generalmente años) para estar seguro de que esas observaciones son exactas.



Muchos de los animales y plantas que conoces se descubrieron en el siglo XIX, coincidiendo con una época en que la ciencia naturalista experimentó un tremendo auge. Los científicos llamados *naturalistas* recorrieron el mundo entero dibujando y describiendo todos los seres vivos nuevos que iban encontrando. Pero no creas que la ciencia descriptiva ha caído en el olvido. Los biólogos actuales continúan utilizando este planteamiento en su intento de identificar a los habitantes más minúsculos del planeta Tierra (bacterias y virus) y también al explorar los océanos en busca de las criaturas extrañas y fabulosas que se ocultan en sus profundidades.

- ✓ **Ciencia experimental.** Cuando los científicos ponen a prueba su conocimiento del mundo por medio de la experimentación, están aplicando la *ciencia experimental*, que generalmente consiste en alguna variación de un proceso llamado *método científico* (encontrarás más información al respecto en la siguiente sección). Los biólogos modernos utilizan la ciencia experimental para tratar de entender muchas cosas, como las causas y las posibles curas de enfermedades humanas o la forma en que el ADN controla la estructura y el funcionamiento de los seres vivos.

La ciencia experimental puede ser algo más compleja que la ciencia descriptiva. Por esa razón hemos dedicado las dos secciones siguientes a presentarte los dos elementos más importantes de este planteamiento: el método científico y el diseño de experimentos.

El método científico

El método científico son las reglas que siguen los investigadores para realizar sus experimentos y luego poner por escrito los resultados. Permite repetir los experimentos y comunicar los resultados de manera uniforme. En líneas generales, el método científico consta de los siguientes pasos:

1. En primer lugar, realizar observaciones y plantear preguntas.

El método científico comienza cuando los investigadores se percatan de algo y se preguntan qué es o cómo funciona, igual que haría un niño al descubrir algo nuevo.

2. A continuación, formular una hipótesis.

Igual que Sherlock Holmes, los científicos buscan pistas que les permitan proponer la hipótesis (explicación) más probable para un conjunto de observaciones. La hipótesis aporta posibles respuestas a las preguntas de los científicos. Supongamos, por ejemplo, que un biólogo marino está examinando unas piedras halladas junto a una playa y encuentra un nuevo animal con forma de gusano que no había visto jamás. Su hipótesis será que el animal es algún tipo de gusano.



Un aspecto importante de toda hipótesis científica es que debe ser contrastable o *refutable*. Dicho de otro modo: debe ser una idea que puedas aceptar o rechazar analizando la situación con tus cinco sentidos.

3. Luego, realizar predicciones y diseñar experimentos que permitan contrastar la idea o las ideas.

Las predicciones orientan el diseño de un experimento con el que comprobar la validez de la hipótesis; generalmente se formulan en un enunciado del tipo *si A, entonces B*. Siguiendo el ejemplo del gusano, el biólogo marino predice que si el animal es un gusano, entonces sus estructuras internas se parecerán a las de otros gusanos que ha estudiado.

4. Contrastar la idea o las ideas mediante experimentación.

Los científicos deben diseñar sus experimentos con cuidado para asegurarse de que las ideas se contrastan de una en una (más adelante, en el apartado “Diseñar experimentos”, explicamos la forma de diseñar un experimento válido). Cuando llevan a cabo sus experimentos, los

científicos realizan observaciones utilizando todos los sentidos y esas observaciones se consignan por escrito en forma de resultados o datos. Volviendo al ejemplo del gusano, el biólogo marino contrasta su hipótesis diseccionando el animal, examinando sus partes con ayuda de un microscopio y haciendo dibujos detallados de las estructuras internas.

Ciencia descriptiva en el siglo XX

Aunque la ciencia descriptiva referida a plantas y animales vivió su época de máximo esplendor en el siglo XIX, actualmente continúan realizándose descubrimientos sobre la vida en una escala que es demasiado pequeña para verse a simple vista. Un proyecto moderno de extraordinaria importancia que aplicó la ciencia descriptiva fue el Proyecto Genoma Humano, que se propuso analizar los 46 cromosomas humanos e intentar averiguar qué hace cada fragmento.

En lugar de surcar los océanos para explorar el mundo y catalogar seres vivos, como hicieron los naturalistas hace 200 años, científicos de todo el mundo se propusieron analizar el minúsculo pero complejo paisaje formado por los 46 cromosomas que contienen todos los genes de los seres humanos. Cada uno de los 25.000 genes que encontraron proporciona información sobre rasgos heredados. Estos pueden ser cosas insignificantes, por ejemplo que seas o no capaz de formar una U con la lengua, o cosas realmente importantes, como tener o no el riesgo genético de desarrollar cáncer de mama o fibrosis quística. Una vez localizados los genes, los científicos pueden utilizar esta información recién adquirida para formular hipótesis sobre curas y terapias génicas.

5. Extraer conclusiones sobre los descubrimientos realizados.

Los científicos interpretan los resultados de sus experimentos por medio del *razonamiento deductivo*, utilizando las observaciones concretas para contrastar las hipótesis generales. Cuando deducen conclusiones, los científicos valoran su hipótesis original y se preguntan si podría continuar siendo cierta a la luz de la nueva información recopilada durante el experimento. En caso afirmativo, la hipótesis continúa siendo una posible explicación de cómo funcionan las cosas. De lo contrario, los científicos rechazan la hipótesis y buscan una explicación alternativa (otra hipótesis) capaz de explicar lo que han observado. En el anterior ejemplo del gusano, el biólogo marino descubre que las estructuras

internas del animal son muy similares a las de otro tipo de gusano que conoce bien. Por lo tanto, concluye que el nuevo animal posiblemente esté emparentado con ese otro tipo de gusano.

6. Por último, comunicar las conclusiones a otros científicos.

La comunicación es una parte fundamental del método científico. Sin ella no sería posible dar a conocer los descubrimientos ni contrastar conclusiones antiguas con nuevos experimentos. Cuando los científicos terminan una investigación, elaboran un artículo donde explican qué han hecho exactamente, qué han observado y a qué conclusiones han llegado; luego envían ese artículo a una revista científica de su campo de especialización. Asimismo, los científicos presentan su trabajo a otros científicos en reuniones y congresos, algunos patrocinados por sociedades científicas. Además de patrocinar reuniones, estas sociedades contribuyen a sus respectivas disciplinas mediante la publicación de revistas científicas y la ayuda a profesores y alumnos que estudien ese campo del saber.

Diseñar experimentos



Todo experimento científico tiene que poderse repetir porque la *respuesta* que ofrece el científico (ya sea validar o refutar la hipótesis original) no puede pasar a formar parte de la base de conocimientos sobre la materia a menos que otros científicos puedan reproducir ese mismo experimento y obtener los mismos resultados.

Cuando un investigador diseña un experimento, su propósito es mostrar claramente el efecto o la importancia de cada uno de los factores que se quieren contrastar. Los factores que pueden modificarse en un experimento se denominan *variables*.



A la hora de diseñar un experimento hay que tener en cuenta tres tipos de variables:

- ✓ **Variables experimentales.** El factor que quieres contrastar es la *variable experimental* (también llamada *variable independiente*).
- ✓ **Variables dependientes.** El factor que estás midiendo es la *variable dependiente* (también llamada *variable de respuesta*).
- ✓ **Variables controladas.** Los factores que, por decisión tuya, permanecen invariables en todos los tratamientos que forman parte de tu experimento son las *variables controladas*.

Los experimentos científicos ayudan a responder preguntas sobre la naturaleza.

Para diseñar un experimento tienes que:

1. **Realizar observaciones y utilizar el razonamiento inductivo para formular una hipótesis que te parezca una buena explicación o respuesta a tu pregunta.**

El *razonamiento inductivo* se basa en observaciones específicas para generar principios generales.

2. **Pensar en la forma de contrastar tu hipótesis, creando una predicción por medio de un enunciado del tipo si A, entonces B.**
3. **Decidir cuál será el tratamiento experimental, qué vas a medir y con qué frecuencia realizarás esas mediciones.**



El factor que alteras en el experimento es la variable experimental. Los cambios que mides son las variables de respuesta.

4. **Crear dos grupos para el experimento: un grupo experimental y un grupo de control.**

El grupo experimental recibe el tratamiento que quiere probar. Dicho de otro modo: varías un factor que podría afectar a ese grupo. El grupo de control debe ser lo más parecido posible al grupo experimental, pero no debe recibir el tratamiento con el que estás experimentando.

5. **Llevar a cabo el experimento con cuidado de controlar todas las variables menos la variable experimental.**
6. **Realizar las mediciones previstas y anotar los datos cuantitativos y cualitativos.**

Los *datos cuantitativos* son datos numéricos como, por ejemplo, la altura, el peso o el número de sujetos que muestran un cambio. Pueden analizarse con estadísticas y representarse con gráficos. Los *datos cualitativos* son datos descriptivos como, por ejemplo, el color, el estado de salud o la felicidad. Generalmente se presentan en tablas.



Asegúrate de anotar la fecha de todas las observaciones.

7. **Analizar los datos comparando las diferencias entre el grupo experimental y el grupo de control.**



Puedes calcular los promedios de los datos numéricos y elaborar gráficos que muestren las diferencias, si las hay, entre los dos grupos.

8. **Utilizar el razonamiento deductivo para decidir si el experimento valida o refuta tu hipótesis y para comparar tus resultados con los de otros científicos.**
9. **Dar a conocer los resultados, asegurándote de explicar tus ideas originales y el modo en que realizaste el experimento, y redactar unas conclusiones.**

Para ver un ejemplo de cómo debe diseñarse un experimento, supongamos que

eres un corredor de maratón que suele entrenarse con un grupo de amigos. Te gustaría saber si tú y tus amigos haríais mejor tiempo en caso de comer pasta la noche antes de la carrera. Para responder a la pregunta, sigue el método científico y diseña un experimento.

1. Formula tu hipótesis.

Tú tienes la corazonada de que si te atiborras de pasta tendrás más energía y podrás mejorar tu tiempo al día siguiente. Debes traducir esa corazonada a una hipótesis adecuada, que podrías enunciar así: El tiempo que se tarda en correr una maratón disminuye al consumir grandes cantidades de hidratos de carbono la noche antes de la prueba.

2. Trata un grupo de sujetos con la variable experimental.

A fin de contrastar tu hipótesis, convence a la mitad de tus amigos para que se zampen un enorme plato de pasta la noche antes de la carrera. Como el factor que quieres contrastar es el efecto de comer pasta, el consumo de pasta es la variable experimental.

3. Crea un grupo de control que no reciba la variable experimental.

Necesitas un grupo de referencia para tu experimento, así que convences a la mitad de tus amigos para que tomen una cena normal (sin pasta) la noche antes de la carrera. Para conseguir el mejor resultado, este grupo de control debe ser lo más parecido posible al grupo experimental. De este modo te aseguras de que cualquier efecto observado es atribuible a la pasta, y no a otro factor. Por lo tanto, lo ideal es que los dos grupos estén formados por personas de la misma edad, del mismo sexo y con el mismo estado de forma. Además, los integrantes de ambos grupos deben comer más o menos lo mismo los días anteriores a la carrera, con la única excepción de la pasta. Todos los factores que podrían ser diferentes entre ambos grupos (edad, sexo, forma física y dieta), pero que tú intentas controlar para que sean iguales, son las variables controladas.

4. Mide la variable dependiente.

El tiempo de carrera es tu variable dependiente, ya que el efecto de

cenar pasta se determina cronometrando el tiempo que tarda cada uno de los integrantes de tu grupo en terminar la maratón. Como los científicos toman mediciones exactas en sus experimentos y presentan esos datos en forma de gráficos, tablas o diagramas, calculas el promedio de los tiempos de carrera de tus amigos en ambos grupos y presentas la información en una pequeña tabla.

5. Compara los resultados de los dos grupos y extrae conclusiones.

Si los sujetos que cenaron pasta han corrido la maratón dos minutos más rápido, en promedio, que los integrantes del otro grupo, puedes concluir que tu hipótesis es cierta y que cenar pasta ayuda a los maratonianos a hacer mejor tiempo en la carrera.

El error de un hombre es el punto de partida de otro

A comienzos del siglo XX, como parte de un experimento, un investigador ruso llamado A. I. Ignatowski alimentó unos conejos con leche y huevos. Observó que en las aortas de los conejos se formaban unas placas iguales a las que desarrollan las personas aquejadas de aterosclerosis. Ignatowski no era ignorante, pero supuso que la aterosclerosis estaba causada por las proteínas de la leche y los huevos. Estaba equivocado.

Un joven investigador que por aquel entonces estaba investigando en el mismo departamento de anatomía patológica, un ruso llamado Nikolai Anichkov, conocía el trabajo de Ignatowski. Anichkov y algunos de sus colegas repitieron el estudio de Ignatowski con un pequeño cambio: dividieron a los conejos en tres grupos diferentes. El primer grupo se alimentó con un suplemento de líquido muscular, el segundo grupo con claras de huevo y el tercero con yemas de huevo. Resultó que únicamente aparecieron placas ateroscleróticas en las aortas de los conejos alimentados con yemas de huevo. Los jóvenes investigadores repitieron el experimento; esta vez analizaron las placas en busca de sustancias químicas concentradas. En 1913 Anichkov y sus colegas descubrieron que el colesterol de la yema de huevo era el responsable de la formación de placas en la aorta. Su descubrimiento no habría sido posible si Ignatowski no hubiera llevado a cabo su experimento (o si se les hubiera adelantado).

Antes de decidir que tu investigación ha terminado, debes considerar otros factores:



- ✓ **Tamaño muestral.** El número de sujetos que reciben cada tratamiento dentro de un experimento es el *tamaño muestral*. Para que una investigación científica sea válida, el tamaño muestral debe ser bastante grande. Si en tu experimento únicamente participaran cuatro amigos, tendrías que repetirlo con un grupo de corredores mucho mayor antes de poder afirmar que el consumo de grandes cantidades de hidratos de carbono la noche antes de la carrera ayuda a los maratonianos a mejorar su marca.
- ✓ **Réplicas.** El número de veces que repites el experimento completo o el número de grupos que hay en cada categoría de tratamiento es lo que se denomina *réplicas*. Pongamos que tienes 60 amigos maratonianos y los divides en seis grupos de diez corredores cada uno. Tres grupos comen pasta y los otros tres no, de manera que tienes tres réplicas de cada tratamiento (el tamaño muestral es 30 para cada tratamiento).
- ✓ **Significación estadística.** La medida matemática de la validez de un experimento se llama *significación estadística*. Los científicos analizan los datos con parámetros estadísticos a fin de determinar si las diferencias entre grupos son significativas. Si un experimento se lleva a cabo varias veces y los resultados se encuentran siempre dentro de un margen estrecho, se considera que dichos resultados son significativos. En tu experimento, si los tiempos de carrera de tus amigos son muy similares dentro de cada grupo, de manera que todos los que cenaron pasta hicieron mejor tiempo que quienes no cenaron pasta, puedes considerar que la diferencia de dos minutos es significativa. Pero ¿y si algunos de los amigos que cenaron pasta hicieron peor tiempo que los demás, pero también hubo uno o dos corredores muy rápidos que bajaron la media global de ese grupo? Entonces tendrías que preguntarte si esos dos minutos son una diferencia significativa o si esos dos amigos muy rápidos cayeron por casualidad en el grupo que cenó pasta.
- ✓ **Errores.** La ciencia la hacen personas y las personas cometen errores; por esa razón los científicos siempre mencionan posibles fuentes de

error cuando comunican los resultados de sus experimentos. Piensa en los errores que puede haber en tu experimento. ¿Qué pasa si no has especificado en qué consistió la cena de los amigos que no comieron pasta? A lo mejor después de la carrera te percatas de que algunos de tus amigos comieron una gran cantidad de hidratos de carbono procedentes de otra fuente, por ejemplo arroz o pan. Dado que tu hipótesis tiene que ver con el efecto de consumir hidratos de carbono antes de una maratón, unos pocos amigos que no cenaran pasta pero sí arroz o pan representarían una fuente de error en el experimento.



Que el científico tenga razón o no es menos importante que el hecho de diseñar un experimento susceptible de ser repetido por otros científicos que esperen obtener el mismo resultado.

Ver la ciencia como el acto de compartir constantemente nuevas ideas

El conocimiento acumulado por los científicos continúa creciendo y cambiando levemente en todo momento. Los científicos siempre están dando vueltas a las cosas para intentar aproximarse a *la verdad*. Intentan mantener la mente abierta a nuevos paradigmas y conservan el deseo de contrastar ideas antiguas con tecnologías nuevas. Asimismo, los científicos fomentan la controversia y el debate porque eso los obliga a cuestionar lo que saben y, en último término, contribuyen a fortalecer el conocimiento científico. A continuación te ofrecemos algunos datos para ilustrar que la ciencia está en permanente evolución:



Los científicos actuales están conectados con los que los precedieron porque las nuevas ideas se basan en investigaciones

anteriores. Por ejemplo, un científico que trabaje en un determinado campo de la biología leerá tantas publicaciones científicas relacionadas con su trabajo como le sea posible, para así estar seguro de que tiene un conocimiento lo más exhaustivo posible de lo que ya se ha hecho y lo que ya se sabe. De este modo puede planificar una línea de investigación que conduzca a nuevos descubrimientos en su campo y amplíe la base de conocimientos científicos.

- ✓ **Algunas ideas científicas son muy antiguas pero continúan estando vigentes.** De vez en cuando surge una nueva tecnología que permite a los científicos contrastar hipótesis antiguas de formas nuevas, lo que conduce a nuevas perspectivas y modificaciones de puntos de vista. Veamos un ejemplo que hace al caso: hasta la década de 1970, los científicos que miraban a través del microscopio pensaban que todos los seres vivos estaban compuestos por dos tipos de células. Cuando utilizaron una nueva tecnología para analizar el material genético de las células, se dieron cuenta de que en realidad los seres vivos están formados por tres tipos de células (te hablamos de ellas en el capítulo 10), dos de las cuales parecen iguales cuando se ven a través de un microscopio. Naturalmente, los antiguos principios no siempre acaban refutándose por completo (por ejemplo, los científicos todavía reconocen la existencia de dos tipos estructurales de células), pero las grandes ideas pueden sufrir pequeñas transformaciones al aparecer nueva información.



- ✓ **Cuando varias líneas de investigación respaldan una hipótesis en particular, esa hipótesis se convierte en una teoría científica.** Una *teoría científica* es una idea que cuenta con el respaldo de muchas pruebas y cuya falsedad no ha podido demostrarse a pesar de numerosos ensayos. Las teorías científicas no cambian tan a menudo como las hipótesis científicas debido a las muchas pruebas que las respaldan, pero incluso las teorías científicas pueden sufrir alguna transformación a la luz de nuevos indicios. Idealmente, los científicos tienen una mentalidad abierta y examinan las nuevas pruebas de manera

objetiva.

**Si surgen contradicciones,
es porque la ciencia funciona**

Es un fastidio que los medios de comunicación informen sobre hallazgos científicos contradictorios (por ejemplo que la margarina es mejor que la mantequilla para mantener la concentración adecuada de colesterol, pero también contiene ácidos grasos perjudiciales para la salud), pero esa contradicción también demuestra que la ciencia está viva y goza de buena salud. Por ejemplo, cuando los científicos descubrieron que un contenido alto de colesterol favorece la aparición de cardiopatías, determinaron correctamente que un producto elaborado con aceite vegetal en lugar de grasa animal (o dicho de otro modo, margarina en lugar de mantequilla) es una elección más sana si estás intentando bajar tu colesterol.

Pero los científicos nunca dejan las cosas como están. Continúan haciéndose preguntas y valorando otras opciones. Son personas curiosas, y por eso continuaron investigando sobre la margarina. Recientemente han descubierto que cuando la margarina se descompone libera ácidos grasos trans, de los que se sabe que son perjudiciales para el corazón y los vasos sanguíneos. Por lo tanto, la margarina tiene aspectos malos que podrían contrarrestar los buenos. Sí, esto puede hacer que te cueste más tomar una decisión en el supermercado, pero también puede contribuir a que todos tengamos mejor salud. Un ejemplo que hace al caso: después de darse a conocer la información sobre los ácidos grasos trans, las empresas alimentarias empezaron a desarrollar nuevas formas de fabricar margarina y otros alimentos sin que contengan esos compuestos perjudiciales.

Buscar fuentes de información científica

Los científicos publican sus trabajos debido, en parte, a que otros científicos de otros lugares del mundo a lo mejor están intentando responder las mismas preguntas y podrían aprovechar la información de cómo otra persona ha planteado el problema. La otra parte es que si los científicos no dieran a conocer sus investigaciones, fallos incluidos, nadie sabría nunca que ese trabajo se está haciendo. Los siguientes apartados proporcionan una visión general de las distintas fuentes que utilizan los científicos para comunicarse unos con otros (y con el resto del mundo).

Revistas: algo más que cuadernos de fantasía

Existen cientos de revistas científicas que tratan todos los temas imaginables de la biología, la química, la física, la ingeniería y otras muchas disciplinas. Las publican toda clase de entidades, incluidas asociaciones profesionales, universidades, centros sanitarios y empresas editoriales médicas y científicas. Con independencia del tema que traten o de dónde procedan, todas las revistas científicas tienen una característica en común: todas ellas se consideran *fuentes primarias* de información científica, es decir, contienen una descripción completa de la investigación original escrita por los investigadores originales.

Cualquiera que investigue sobre algo, ya sea un estudiante o un científico, lo primero que hace es consultar las revistas científicas. En ellas se encuentran los artículos de investigación originales, de modo que siempre pueden encontrar la información más actualizada sobre un determinado campo. Los artículos científicos se ajustan a una estructura concreta que comienza con un *resumen* seguido de una introducción donde se plantea la hipótesis. A continuación viene la descripción de los materiales utilizados, la descripción del diseño y la ejecución del experimento, y luego una exposición de los resultados obtenidos, acompañados de gráficos y tablas. Por último, en el artículo se exponen las conclusiones del autor y las limitaciones a las que ha tenido que hacer frente durante el experimento o los experimentos.



Las revistas científicas aplican un proceso de revisión externa que ayuda a garantizar la fiabilidad de la información científica publicada. Este proceso consiste en lo siguiente: el editor de una revista científica envía un artículo de investigación a varios científicos de cierto prestigio que trabajen en el mismo campo que el autor o los autores del artículo, para que lo revisen y emitan sus comentarios. Los revisores deben valorar si las ideas y los razonamientos expuestos en el artículo son válidos y si la investigación contribuye a ampliar la base de conocimientos científicos. A continuación, basándose en los comentarios de los revisores, el editor decide si publica o no el artículo. Si no satisface los criterios de los revisores y del editor, el artículo

no se publicará en esa revista.



Aunque muchas revistas científicas se encuentran en internet, es posible que no puedas acceder a los artículos sin pagar una cuota. No obstante, si eres estudiante universitario, puede que la biblioteca de tu facultad esté suscrita a varias revistas. Pregunta al bibliotecario si es así y, en tal caso, cómo puedes acceder a las revistas a través de los ordenadores de la biblioteca.

Libros de texto: el principal recurso de un estudiante

Tanto si te encantan como si los odias (o incluso si te importan un pimiento), los libros de texto se consideran *fuentes secundarias* de información científica, lo cual significa que recopilan o comentan información procedente de fuentes primarias. Las fuentes secundarias pueden no estar escritas por los investigadores originales. Presentan los conocimientos sobre un tema o un campo en particular en un momento dado, de modo que son un buen recurso para consultar la evolución histórica de una materia, los datos básicos de una determinada cuestión y resúmenes de investigaciones importantes.

Medios generalistas: no siempre proporcionan información fidedigna

Los medios de comunicación generalistas (periódicos, revistas y programas de radio y televisión) se consideran *fuentes terciarias*, es decir, se encuentran a dos pasos de distancia de la fuente de información original. Los medios generalistas proporcionan información, de eso no hay duda, pero la validez de esa información no está garantizada. Siempre existe la posibilidad de que el periodista responsable de la noticia o el reportaje no haya entendido bien la investigación del científico o algo que este haya dicho. Es como el juego del teléfono roto, en que la información comunicada a la primera persona va

distorsionándose a medida que va pasando de uno a otro hasta llegar al último.



Siempre es preferible citar un artículo de una revista o un libro de texto que una noticia de un gran medio de comunicación.

Internet: una cantidad ingente de información, no siempre correcta

En internet hay un montón de información científica disponible, y buena parte de ella es gratuita. Lo difícil es distinguir el grano de la paja. Para encontrar información científica de calidad:

- ✓ **Visita los sitios web de entidades gubernamentales.** Estos sitios web terminan en .gob.es. En ellos encontrarás bibliografía primaria, pero incluso la secundaria suele ser de buena calidad. Si utilizas la función de búsqueda avanzada en tu navegador, podrás restringir tus búsquedas a los dominios en los que estés interesado.
- ✓ **Navega por los sitios web de universidades.** Algunos científicos universitarios publican copias de sus artículos (que son ejemplos de bibliografía primaria) mientras que otros cuelgan apuntes de clase y otras lecturas (de todos modos, si estás estudiando en una universidad, lo mejor es que accedas a la bibliografía primaria —revistas científicas— a través de la suscripción de la biblioteca de tu facultad).
- ✓ **Ten cuidado cuando entres en sitios web de organizaciones.** Estos sitios web terminan en .org. Las organizaciones grandes que gozan de buena reputación generalmente ofrecen información secundaria de buena calidad en sus sitios web, y algunas incluso ponen enlaces a fuentes primarias. Sin embargo, las organizaciones pequeñas que no tienen un prestigio ya establecido no son buenas fuentes de información científica.



Cuando busques información científica, evita los sitios web

comerciales (los que terminan en .com). Las personas y empresas que han registrado esos dominios quieren venderte algo. Tienen ánimo de lucro, de manera que la información que ofrecen podría estar sesgada, o la comunidad científica podría considerar que no es fiable.

Capítulo 3

La química de la vida

En este capítulo

- ▶ Entender por qué la materia es tan importante
 - ▶ Distinguir entre átomos, elementos, isótopos, moléculas y compuestos
 - ▶ Conocer los ácidos y las bases
 - ▶ Comprender la estructura y la función de moléculas importantes para la vida
-

Todo lo que tiene masa y ocupa espacio, incluido tú y el resto de las formas de vida que hay en la Tierra, está hecho de materia. Los átomos forman moléculas, que son la base de todos los seres vivos. Los hidratos de carbono, las proteínas, los ácidos nucleicos y los lípidos son cuatro tipos de moléculas especialmente importantes para la estructura y el funcionamiento de los organismos. En este capítulo ofrecemos algunas nociones de química básica que resultan esenciales para entender la biología.

Por qué es importante la materia

Todos los seres vivos están hechos de materia. Para crecer, los organismos necesitan conseguir más materia con la que construir nuevas estructuras. Cuando los seres vivos mueren, ya sean plantas o animales, hay

microorganismos como bacterias y hongos que digieren la materia muerta y la reciclan para que otros seres vivos puedan utilizarla de nuevo. De hecho, toda la materia que hay en la Tierra lleva aquí desde que el planeta se formó hace 4.500 millones de años. Durante todo este tiempo simplemente se ha ido reciclando. Por lo tanto, es posible que la materia que ahora hay en tu cuerpo en algún momento del pasado formara parte de un *Tyrannosaurus rex*, una mariposa o incluso una bacteria.

Materia invisible

¿Qué es lo que parece no estar ahí pero en realidad sí está? ¡El aire! La atmósfera terrestre quizá parezca no existir, pero se compone de gases como el nitrógeno, el dióxido de carbono y el oxígeno. Estos gases interaccionan con los seres vivos de muchas formas. Las plantas, por ejemplo, absorben dióxido de carbono y con él construyen sus estructuras. Es difícil de creer, pero hasta la secuoya más alta del bosque crece como resultado de absorber dióxido de carbono e incorporarlo a su organismo. Obviamente, la secuoya ocupa espacio y tiene masa, pero es que esas moléculas de dióxido de carbono invisibles también son materia.



A continuación tienes algunos datos que debes conocer sobre la materia:

- ✓ **La materia ocupa espacio.** Ese espacio que ocupan las cosas lo llamamos *volumen* y se mide en *litros* (l).
- ✓ **La materia tiene masa.** *Masa* es el término que describe la cantidad de materia que hay en una sustancia. Se mide en *gramos* (g). La gravedad de la Tierra atrae la masa, de forma que cuanto más masa tienes, más pesas.
- ✓ **La materia puede encontrarse en varios estados.** La materia se presenta en tres estados principales o formas de agregación: sólido, líquido o gas. Los *sólidos* tienen una forma y un tamaño definidos, como ocurre con una persona o un ladrillo. Los *líquidos* tienen un volumen

concreto y pueden llenar un recipiente; al hacerlo adoptan su forma. Los gases son fáciles de comprimir y se expanden llenando el recipiente que los contiene; es decir, no tienen un volumen concreto ni definido.



Para entender la diferencia entre masa y peso, compara tu peso en la Tierra con tu peso en la Luna. Con independencia de dónde te encuentres, tu cuerpo está formado por la misma cantidad de materia, es decir, tiene la misma masa. Sin embargo, la Luna es mucho más pequeña que la Tierra, de modo que tiene mucha menos gravedad y atraería tu masa con menos fuerza. Por eso, si fueras a la Luna, tu peso allí sería tan solo una sexta parte del que tienes en la Tierra, pero tu masa sería la misma, ya que es invariable.

Diferencias entre átomos, elementos e isótopos

Toda la materia se compone de partículas. Si dividieras la materia en trozos cada vez más pequeños, al final llegarías a los elementos individuales que la componen, que a su vez están formados por átomos, y estos por unas partículas todavía más pequeñas llamadas partículas subatómicas. Además, el número de partículas subatómicas que hay en un átomo varía a veces, con lo que se crean isótopos. ¡Buf! Es mucha información para asimilarla de una vez, de manera que hemos desglosado los conceptos de elementos, átomos e isótopos en los apartados siguientes.

La estructura atómica

Un *átomo* es la parte más pequeña y estable de un elemento que conserva todas las propiedades de dicho elemento. Es la cantidad de materia más pequeña que puede medirse. No obstante, todos los átomos contienen unas partículas todavía más pequeñas llamadas *partículas subatómicas*. Las

principales son los protones, los neutrones y los electrones (otras son los quarks, los mesones, los leptones y los neutrinos). Las partículas subatómicas no pueden separarse de un átomo sin que este se destruya.



La estructura básica de un átomo (observa la figura 3-1) es la siguiente:

- ✓ **La parte central del átomo, llamada núcleo, contiene dos tipos de partículas subatómicas: protones y neutrones.** Ambos tienen masa, pero los *neutrones* no tienen carga (son neutros y de ahí su nombre). Sin embargo, los *protones* tienen carga positiva. Como los protones son positivos y los neutrones no tienen carga, la carga neta de un núcleo atómico es positiva.
- ✓ **En torno al núcleo hay una nube de electrones.** Los *electrones* tienen carga negativa pero no tienen masa.

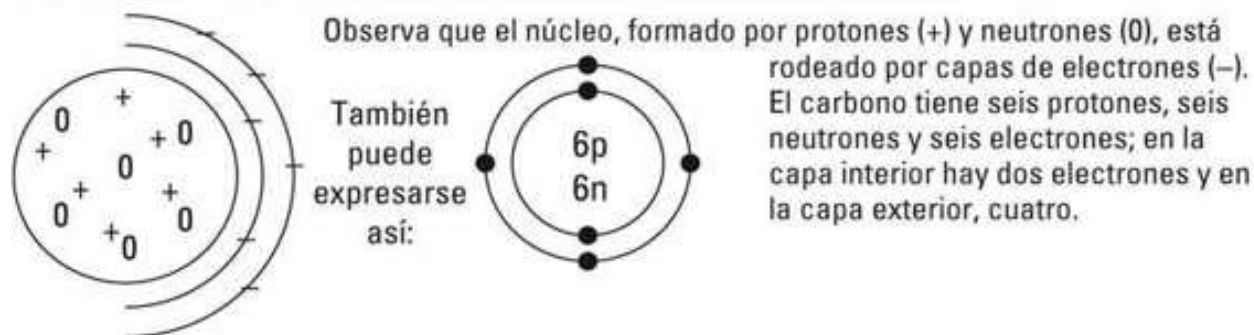


Los átomos se convierten en iones cuando ganan o pierden electrones. Es decir, los *iones* son básicamente átomos con carga eléctrica. Los *iones positivos* (+) tienen más protones que electrones, y los *iones negativos* (–) tienen más electrones que protones. Como las cargas positivas y negativas se atraen entre sí, los átomos pueden formar enlaces, tal y como se explica más adelante en el apartado “Moléculas, compuestos y enlaces”.

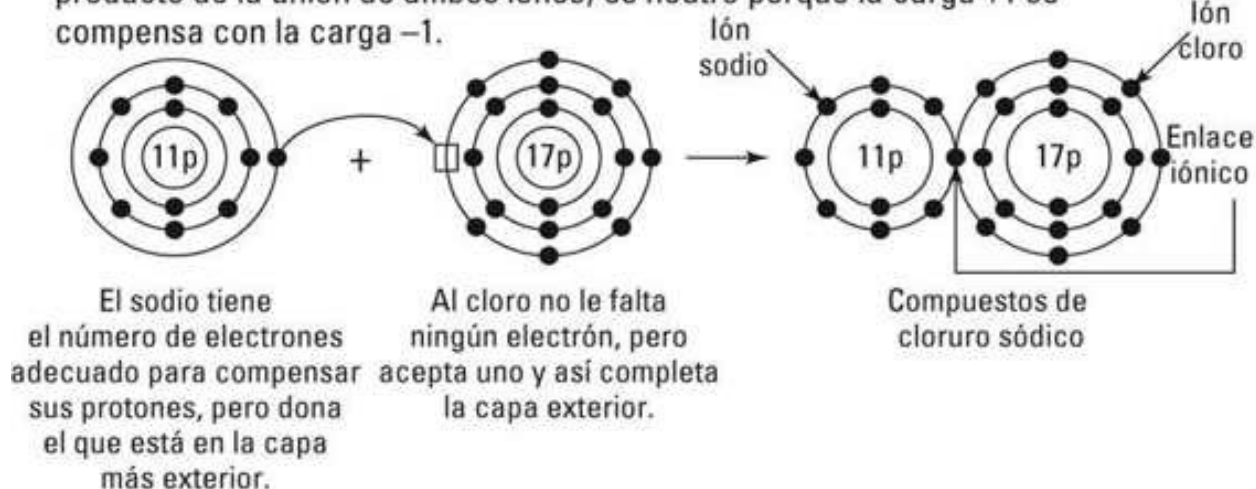
Elementos de elementos

Un *elemento* es una sustancia hecha de átomos que tienen el mismo número de protones. Son sustancias puras, compuestas por un solo tipo de moléculas (que se describen un poco más adelante). Todos los elementos conocidos se organizan en la tabla periódica de los elementos (representada en la figura 3-2), que tiene las siguientes propiedades:

A. El modelo atómico de Bohr tomando como ejemplo el carbono.



B. Al unirse los iones de sodio y los de cloro se forma la sal común. El ión sodio tiene carga positiva porque tiene un protón más que el número total de electrones, de manera que la carga total es positiva. El ión cloro es negativo porque, después de aceptar el electrón del sodio, tiene un electrón más que el número total de protones (18 frente a 17), de manera que la carga total es negativa. Sin embargo, el NaCl (el producto de la unión de ambos iones) es neutro porque la carga +1 se compensa con la carga -1.



C. Dos átomos de oxígeno que se juntan y forman oxígeno gaseoso.

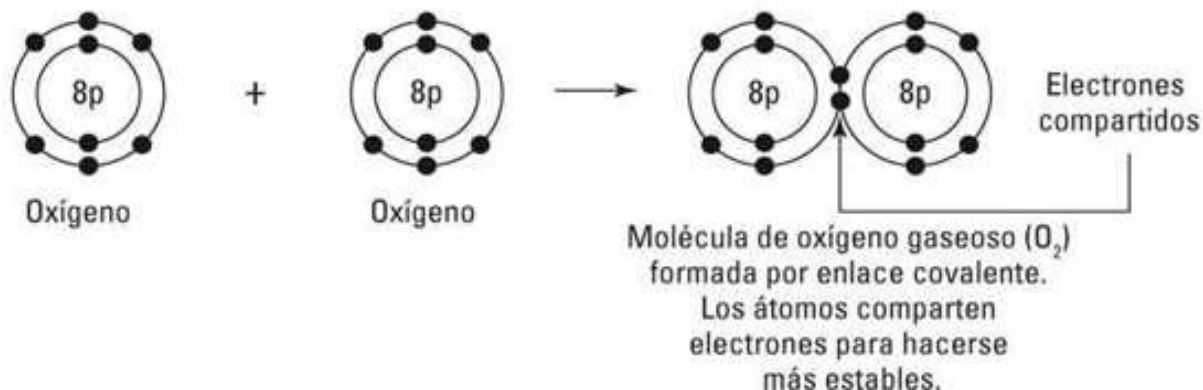


Figura 3-1:

El modelo atómico de Bohr.

1 H Hidrógeno 1,01		2 He Helio 4,00	
3 Li Litio 6,94		4 Be Berilio 9,01	
5 B Boro 10,81		6 C Carbono 12,01	
7 N Nitrógeno 14,01		8 O Oxígeno 16,00	
9 F Fluor 19,00		10 Ne Neón 20,18	
11 Na Sodio 22,99		12 Mg Magnesio 24,31	
13 Al Aluminio 26,98		14 Si Silicio 28,09	
15 P Fósforo 30,97		16 S Azufre 32,06	
17 Cl Cloro 35,45		18 Ar Argón 39,95	
19 K Potasio 39,10		20 Ca Calcio 40,08	
21 Sc Escandio 44,96		22 Ti Titanio 47,88	
23 V Vanadio 50,94		24 Cr Cromo 52,00	
25 Mn Manganeso 54,94		26 Fe Hierro 55,85	
27 Co Cobalto 58,93		28 Ni Níquel 58,71	
29 Cu Cobre 63,55		30 Zn Zinc 65,38	
31 Ga Galio 69,72		32 Ge Germanio 72,59	
33 As Arsénico 74,92		34 Se Selenio 78,96	
35 Br Bromo 79,90		36 Kr Cripton 83,80	
37 Rb Rubidio 85,47		38 Sr Estroncio 87,62	
39 Y Itrio 88,91		40 Zr Zirconio 91,22	
41 Nb Níobio 92,91		42 Mo Molibdeno 95,94	
43 Tc Tecnecio (99)		44 Ru Rutenio 101,07	
45 Rh Rodio 102,91		46 Pd Paladio 106,42	
47 Ag Plata 107,87		48 Cd Cadmio 112,41	
49 In Indio 114,82		50 Sn Estao 118,69	
51 Sb Antimonio 121,75		52 Te Telurio 127,60	
53 I Yodo 126,90		54 Xe Xenón 131,30	
55 Cs Cesio 132,91		56 Ba Bario 137,34	
57 La Lantano 138,91		58 Ce Cerio 140,12	
59 Pr Praseodimio 140,91		60 Nd Neodimio 144,24	
61 Pm Promecio (147)		62 Sm Samario 150,35	
63 Eu Europio 151,96		64 Gd Gadolinio 157,25	
65 Tb Terbio 158,93		66 Dy Disprosio 162,50	
67 Ho Holmio 164,93		68 Er Erbio 167,26	
69 Tm Tulio 168,93		70 Yb Iterbio 173,04	
71 Lu Lutecio 174,97		72 Hf Hafnio 178,50	
73 Ta Tungsteno 180,95		74 W Wolframio 183,85	
75 Re Renio 186,21		76 Os Osmio 190,2	
77 Ir Iridio 192,22		78 Pt Platino 195,09	
79 Au Oro 196,97		80 Hg Mercurio 200,59	
81 Tl Talio 204,37		82 Pb Plomo 207,19	
83 Bi Bismuto 208,98		84 Po Polonio (210)	
85 At Astatino (210)		86 Rn Radón (222)	
87 Fr Francio (223)		88 Ra Radio (226)	
89 Ac Actinio (227)		90 Th Torio (232)	
91 Pa Protactinio (231)		92 U Uranio (238)	
93 Np Neptunio (237)		94 Pu Plutonio (242)	
95 Am Americio (243)		96 Cm Curio (247)	
97 Bk Berkelio (247)		98 Cf Californio (251)	
99 Es Einsteinio (254)		100 Fm Fermio (257)	
101 Md Mendelevio (258)		102 No Nobelio (259)	
103 Lr Lawrencio (260)		104 La Lantano (138,9)	
105 Ce Cerio (140,1)		106 Pr Praseodimio (140,9)	
107 Nd Neodimio (144,2)		108 Pm Promecio (147)	
109 Eu Europio (152,0)		110 Gd Gadolinio (157,3)	
111 Tb Terbio (158,9)		112 Dy Disprosio (162,5)	
113 Ho Holmio (164,9)		114 Er Erbio (167,3)	
115 Tm Tulio (168,9)		116 Yb Iterbio (173,0)	
117 Lu Lutecio (174,9)		118 Hf Hafnio (178,5)	
119 Ta Tungsteno (180,9)		120 W Wolframio (183,8)	
121 Re Renio (186,2)		122 Os Osmio (190,2)	
123 Ir Iridio (192,2)		124 Pt Platino (195,1)	
125 Au Oro (196,9)		126 Hg Mercurio (200,6)	
127 Tl Talio (204,4)		128 Pb Plomo (207,2)	
129 Bi Bismuto (208,9)		130 Po Polonio (210)	
131 At Astatino (210)		132 Rn Radón (222)	
133 Fr Francio (223)		134 Ra Radio (226)	
135 Ac Actinio (227)		136 Th Torio (232)	
137 Pa Protactinio (231)		138 U Uranio (238)	
139 Np Neptunio (237)		140 Pu Plutonio (242)	
141 Am Americio (243)		142 Cm Curio (247)	
143 Bk Berkelio (247)		144 Cf Californio (251)	
145 Es Einsteinio (254)		146 Fm Fermio (257)	
147 Md Mendelevio (258)		148 No Nobelio (259)	
149 Lr Lawrencio (260)		150 La Lantano (138,9)	
151 Ce Cerio (140,1)		152 Pr Praseodimio (140,9)	
153 Nd Neodimio (144,2)		154 Pm Promecio (147)	
155 Eu Europio (152,0)		156 Gd Gadolinio (157,3)	
157 Tb Terbio (158,9)		158 Dy Disprosio (162,5)	
159 Ho Holmio (164,9)		160 Er Erbio (167,3)	
161 Tm Tulio (168,9)		162 Yb Iterbio (173,0)	
163 Lu Lutecio (174,9)		164 Hf Hafnio (178,5)	
165 Ta Tungsteno (180,9)		166 W Wolframio (183,8)	
167 Re Renio (186,2)		168 Os Osmio (190,2)	
169 Ir Iridio (192,2)		170 Pt Platino (195,1)	
171 Au Oro (196,9)		172 Hg Mercurio (200,6)	
173 Tl Talio (204,4)		174 Pb Plomo (207,2)	
175 Bi Bismuto (208,9)		176 Po Polonio (210)	
177 At Astatino (210)		178 Rn Radón (222)	
179 Fr Francio (223)		180 Ra Radio (226)	
181 Ac Actinio (227)		182 Th Torio (232)	
183 Pa Protactinio (231)		184 U Uranio (238)	
185 Np Neptunio (237)		186 Pu Plutonio (242)	
187 Am Americio (243)		188 Cm Curio (247)	
189 Bk Berkelio (247)		190 Cf Californio (251)	
191 Es Einsteinio (254)		192 Fm Fermio (257)	
193 Md Mendelevio (258)		194 No Nobelio (259)	
195 Lr Lawrencio (260)		196 La Lantano (138,9)	
197 Ce Cerio (140,1)		198 Pr Praseodimio (140,9)	
199 Nd Neodimio (144,2)		200 Pm Promecio (147)	
201 Eu Europio (152,0)		202 Gd Gadolinio (157,3)	
203 Tb Terbio (158,9)		204 Dy Disprosio (162,5)	
205 Ho Holmio (164,9)		206 Er Erbio (167,3)	
207 Tm Tulio (168,9)		208 Yb Iterbio (173,0)	
209 Lu Lutecio (174,9)		210 Hf Hafnio (178,5)	
211 Ta Tungsteno (180,9)		212 W Wolframio (183,8)	
213 Re Renio (186,2)		214 Os Osmio (190,2)	
215 Ir Iridio (192,2)		216 Pt Platino (195,1)	
217 Au Oro (196,9)		218 Hg Mercurio (200,6)	
219 Tl Talio (204,4)		220 Pb Plomo (207,2)	
221 Bi Bismuto (208,9)		222 Po Polonio (210)	
223 At Astatino (210)		224 Rn Radón (222)	
225 Fr Francio (223)		226 Ra Radio (226)	
227 Ac Actinio (227)		228 Th Torio (232)	
229 Pa Protactinio (231)		230 U Uranio (238)	
231 Np Neptunio (237)		232 Pu Plutonio (242)	
233 Am Americio (243)		234 Cm Curio (247)	
235 Bk Berkelio (247)		236 Cf Californio (251)	
237 Es Einsteinio (254)		238 Fm Fermio (257)	
239 Md Mendelevio (258)		240 No Nobelio (259)	
241 Lr Lawrencio (260)		242 La Lantano (138,9)	
243 Ce Cerio (140,1)		244 Pr Praseodimio (140,9)	
245 Nd Neodimio (144,2)		246 Pm Promecio (147)	
247 Eu Europio (152,0)		248 Gd Gadolinio (157,3)	
249 Tb Terbio (158,9)		250 Dy Disprosio (162,5)	
251 Ho Holmio (164,9)		252 Er Erbio (167,3)	
253 Tm Tulio (168,9)		254 Yb Iterbio (173,0)	
255 Lu Lutecio (174,9)		256 Hf Hafnio (178,5)	
257 Ta Tungsteno (180,9)		258 W Wolframio (183,8)	
259 Re Renio (186,2)		260 Os Osmio (190,2)	
261 Ir Iridio (192,2)		262 Pt Platino (195,1)	
263 Au Oro (196,9)		264 Hg Mercurio (200,6)	
265 Tl Talio (204,4)		266 Pb Plomo (207,2)	
267 Bi Bismuto (208,9)		268 Po Polonio (210)	
269 At Astatino (210)		270 Rn Radón (222)	
271 Fr Francio (223)		272 Ra Radio (226)	
273 Ac Actinio (227)		274 Th Torio (232)	
275 Pa Protactinio (231)		276 U Uranio (238)	
277 Np Neptunio (237)		278 Pu Plutonio (242)	
279 Am Americio (243)		280 Cm Curio (247)	
281 Bk Berkelio (247)		282 Cf Californio (251)	
283 Es Einsteinio (254)		284 Fm Fermio (257)	
285 Md Mendelevio (258)		286 No Nobelio (259)	
287 Lr Lawrencio (260)		288 La Lantano (138,9)	
289 Ce Cerio (140,1)		290 Pr Praseodimio (140,9)	
291 Nd Neodimio (144,2)		292 Pm Promecio (147)	
293 Eu Europio (152,0)		294 Gd Gadolinio (157,3)	
295 Tb Terbio (158,9)		296 Dy Disprosio (162,5)	
297 Ho Holmio (164,9)		298 Er Erbio (167,3)	
299 Tm Tulio (168,9)		300 Yb Iterbio (173,0)	
301 Lu Lutecio (174,9)		302 Hf Hafnio (178,5)	
303 Ta Tungsteno (180,9)		304 W Wolframio (183,8)	
305 Re Renio (186,2)		306 Os Osmio (190,2)	
307 Ir Iridio (192,2)		308 Pt Platino (195,1)	
309 Au Oro (196,9)		310 Hg Mercurio (200,6)	
311 Tl Talio (204,4)		312 Pb Plomo (207,2)	
313 Bi Bismuto (208,9)		314 Po Polonio (210)	
315 At Astatino (210)		316 Rn Radón (222)	
317 Fr Francio (223)		318 Ra Radio (226)	
319 Ac Actinio (227)		320 Th Torio (232)	
321 Pa Protactinio (231)		322 U Uranio (238)	
323 Np Neptunio (237)		324 Pu Plutonio (242)	
325 Am Americio (243)		326 Cm Curio (247)	
327 Bk Berkelio (247)		328 Cf Californio (251)	
329 Es Einsteinio (254)		330 Fm Fermio (257)	
331 Md Mendelevio (258)		332 No Nobelio (259)	
333 Lr Lawrencio (260)		334 La Lantano (138,9)	
335 Ce Cerio (140,1)		336 Pr Praseodimio (140,9)	
337 Nd Neodimio (144,2)		338 Pm Promecio (147)	
339 Eu Europio (152,0)		340 Gd Gadolinio (157,3)	
341 Tb Terbio (158,9)		342 Dy Disprosio (162,5)	
343 Ho Holmio (164,9)		344 Er Erbio (167,3)	
345 Tm Tulio (168,9)		346 Yb Iterbio (173,0)	
347 Lu Lutecio (174,9)		348 Hf Hafnio (178,5)	
349 Ta Tungsteno (180,9)		350 W Wolframio (183,8)	
351 Re Renio (186,2)		352 Os Osmio (190,2)	
353 Ir Iridio (192,2)		354 Pt Platino (195,1)	
355 Au Oro (196,9)		356 Hg Mercurio (200,6)	
357 Tl Talio (204,4)		358 Pb Plomo (207,2)	
359 Bi Bismuto (208,9)		360 Po Polonio (210)	
361 At Astatino (210)		362 Rn Radón (222)	
363 Fr Francio (223)		364 Ra Radio (226)	
365 Ac Actinio (227)		366 Th Torio (232)	
367 Pa Protactinio (231)		368 U Uranio (238)	
369 Np Neptunio (237)		370 Pu Plutonio (242)	
371 Am Americio (243)		372 Cm Curio (247)	
373 Bk Berkelio (247)		374 Cf Californio (251)	
375 Es Einsteinio (254)		376 Fm Fermio (257)	
377 Md Mendelevio (258)		378 No Nobelio (259)	
379 Lr Lawrencio (260)		380 La Lantano (138,9)	
381 Ce Cerio (140,1)		382 Pr Praseodimio (140,9)	
383 Nd Neodimio (144,2)		384 Pm Promecio (147)	
385 Eu Europio (152,0)		386 Gd Gadolinio (157,3)	
387 Tb Terbio (158,9)		388 Dy Disprosio (162,5)	
389 Ho Holmio (164,9)		390 Er Erbio (167,3)	
391 Tm Tulio (168,9)		392 Yb Iterbio (173,0)	
393 Lu Lutecio (174,9)		394 Hf Hafnio (178,5)	
395 Ta Tungsteno (180,9)		396 W Wolframio (183,8)	
397 Re Renio (186,2)		398 Os Osmio (190,2)	
399 Ir Iridio (192,2)		400 Pt Platino (195,1)	
401 Au Oro (196,9)		402 Hg Mercurio (200,6)	
403 Tl Talio (204,4)		404 Pb Plomo (207,2)	
405 Bi Bismuto (208,9)		406 Po Polonio (210)	
407 At Astatino (210)		408 Rn Radón (222)	
409 Fr Francio (223)		410 Ra Radio (226)	
411 Ac Actinio (227)		412 Th Torio (232)	
413 Pa Protactinio (231)		414 U Uranio (238)	
415 Np Neptunio (237)		416 Pu Plutonio (242)	
417 Am Americio (243)		418 Cm Curio (247)	
419 Bk Berkelio (247)		420 Cf Californio (251)	
421 Es Einsteinio (254)		422 Fm Fermio (257)	
423 Md Mendelevio (258)		424 No Nobelio (259)	
425 Lr Lawrencio (260)		426 La Lantano (138,9)	
427 Ce Cerio (140,1)		428 Pr Praseodimio (140,9)	
429 Nd Neodimio (144,2)		430 Pm Promecio (147)	
431 Eu Europio (152,0)		432 Gd Gadolinio (157,3)	
433 Tb Terbio (158,9)		434 Dy Disprosio (162,5)	
435 Ho Holmio (164,9)		436 Er Erbio (167,3)	
437 Tm Tulio (168,9)		438 Yb Iterbio (173,0)	
439 Lu Lutecio (174,9)		440 Hf Hafnio (178,5)	
441 Ta Tungsteno (180,9)		442 W Wolframio (183,8)	
443 Re Ren			

- ✓ **Cada una de las filas de la tabla se denomina *período*.** Si te desplazas horizontalmente por la tabla, pasas de los metales a los no metales, con los metales pesados en el medio.
- ✓ **Cada columna se denomina *familia* o *grupo*.** Los elementos pertenecientes a la misma familia/grupo tienen propiedades similares. El tamaño del átomo aumenta a medida que bajas por cada columna.

Si te fijas en la figura 3-2, verás que cada elemento tiene asociado un número. Ese número es el *número atómico*, la cantidad de protones que hay en el núcleo de un determinado elemento. Por ejemplo, el carbono (la letra C en la tabla periódica) tiene seis protones en el núcleo de un átomo, de manera que su número atómico es 6. La ley periódica establece que las propiedades de los elementos son una función periódica de sus números atómicos. Dicho de otro modo: cuando los elementos se organizan por su número atómico, forman grupos que presentan propiedades similares. Asimismo, el número de electrones que hay en un átomo de un elemento coincide con el número atómico, ya que los átomos son eléctricamente neutros (por cada partícula con carga positiva, hay una con carga negativa que la compensa).



De todos los elementos que hay en la tabla periódica, los seres vivos utilizan solo unos pocos. Los cuatro elementos más comunes en los seres vivos son el hidrógeno, el carbono, el nitrógeno y el oxígeno, todos ellos presentes en el aire, las plantas y el agua (en los organismos se encuentran también otros elementos en cantidades menores, entre otros sodio, magnesio, fósforo, azufre, cloro, potasio y calcio).

Generalmente, los elementos sodio, magnesio, cloro, potasio y calcio circulan por el cuerpo en forma de *electrolitos*, sustancias que liberan iones (descritos en el apartado anterior) cuando entran en contacto con el agua. Por ejemplo, en el *agua* del organismo, el cloruro sódico (NaCl) se disocia en los iones Na^+ y Cl^- , que luego se utilizan en órganos como el corazón o en los procesos celulares.

Isótopos



Todos los átomos de un elemento tienen el mismo número de protones, pero el número de neutrones puede variar. Si dos átomos de un mismo elemento tienen un número de neutrones diferente, esos átomos se denominan *isótopos* del elemento.

Por ejemplo, el carbono 12 y el carbono 14 son dos isótopos del elemento carbono. Los átomos de carbono 12 tienen seis protones y seis neutrones. El número másico de estos átomos de carbono es 12 porque su masa es igual a 12. Los átomos de carbono 14 también tienen seis protones (igual que todos los átomos de carbono), pero en este caso tienen ocho neutrones, de manera que su número másico es 14.

La *masa atómica* de un elemento es la masa media de todos los isótopos de ese elemento, teniendo en cuenta su abundancia relativa. Si echas un vistazo a la tabla periódica en la figura 3-2, verás que la masa atómica del carbono (indicado debajo de la letra C) es 12,01. Este número te dice que si calcularas el promedio de la masa de todos los átomos de carbono que hay en la Tierra, te daría 12,01. El isótopo de carbono más estable es el carbono 12, y por eso es más abundante que el carbono 14 (si promedias la masa de un montón de átomos de carbono 12 y solo unos pocos de carbono 14, te sale un número un poco más grande que 12).

Moléculas, compuestos y enlaces

Cuando empiezas a combinar elementos obtienes formas más complejas de materia, como las moléculas y los compuestos. Las *moléculas* están formadas por dos o más átomos, y los *compuestos* son moléculas que contienen al menos dos elementos diferentes.



Para entender mejor la diferencia entre elementos, moléculas y compuestos, piensa en cómo se hacen las galletas con pepitas de chocolate. Primero tienes que mezclar los ingredientes húmedos: mantequilla, azúcar, huevos y vainilla. Considera que cada uno de esos ingredientes es un elemento distinto. Necesitas dos barritas del elemento mantequilla. Cuando combinas mantequilla con mantequilla, obtienes una molécula de mantequilla. Antes de añadir el elemento huevo, tienes que batirlo. De este modo, cuando combinas huevo con huevo en un plato hondo, obtienes una molécula de huevo. Cuando mezclas todos los ingredientes húmedos, la molécula de mantequilla se combina con la molécula de huevo y obtienes un compuesto llamado *húmedo*. El siguiente paso es mezclar los ingredientes secos: harina, sal y levadura química. Considera que cada uno de esos ingredientes es un elemento distinto. Al mezclar todos los ingredientes secos se obtiene un compuesto llamado *seco*. Después de mezclar el compuesto húmedo con el compuesto seco, la reacción está preparada para el elemento más importante de todos: las pepitas de chocolate.

Pero ¿qué es lo que mantiene unidos los elementos que al unirse dan lugar a moléculas y compuestos? Los enlaces, naturalmente. En los seres vivos existen dos grandes tipos de enlaces:

- ✓ **Los enlaces iónicos** mantienen los iones unidos gracias a que tienen cargas eléctricas opuestas. Cuando los átomos se combinan y pierden o ganan electrones se produce una reacción iónica. Por ejemplo, cuando el sodio (Na) y el cloro (Cl) se combinan, el primero cede un electrón al segundo. El sodio se convierte en el ión sodio (Na^+), que tienen carga positiva, y el cloro se convierte en el ión cloro (Cl^-), que tienen carga negativa. Estos dos iones con cargas opuestas se atraen entre sí y así se forma un enlace iónico.
- ✓ **Los enlaces covalentes** se forman cuando los átomos comparten electrones a través de una reacción covalente. Cuando dos átomos de oxígeno se juntan para formar oxígeno gaseoso, comparten dos pares de

electrones. Cada par de electrones compartidos es un enlace covalente, de manera que los dos pares de electrones compartidos que hay en una molécula de oxígeno gaseoso forman un enlace doble. Los enlaces covalentes son extremadamente importantes en biología porque mantienen unidas todas las moléculas.

Ácidos y bases (no, no es una banda de Heavy Metal)

Algunas sustancias, por ejemplo el zumo de limón y el vinagre, casi te hacen cerrar los ojos cuando las pruebas. Otras, como el ácido de batería y el amoníaco, son tan cáusticas que evitas por todos los medios que te toquen la piel. Estas sustancias son los ácidos y las bases (también llamadas álcalis), y las dos pueden causar daños en las células.

- ✓ **Los ácidos son moléculas que al disociarse en presencia de agua liberan iones hidrógeno (H^+).** Un ejemplo típico es el ácido clorhídrico (HCl). Cuando se añade al agua, el HCl se divide en H^+ y Cl^- , aumentando el número de iones hidrógeno que hay en la solución agua/ HCl .
- ✓ **Las bases son moléculas que al disociarse en presencia de agua liberan iones hidróxido (OH^-).** El ejemplo más común es el hidróxido sódico ($NaOH$). Cuando se añade al agua, el $NaOH$ se divide en Na^+ y OH^- .

Las partículas cargadas, como los iones hidrógeno y los iones hidróxido, pueden interferir en los enlaces químicos que mantienen unidas las moléculas. Como los seres vivos están hechos de moléculas, los ácidos y las bases fuertes pueden liberar suficiente cantidad de iones como para causar daños.



Incluso el agua puede dividirse para crear iones hidrógeno e iones

hidróxido. Cada molécula de agua (H_2O) puede disociarse para dar lugar a un ión hidrógeno (H^+) y un ión hidróxido (OH^-). Estos iones se recombinan fácilmente para volver a formar moléculas de agua, y continúan alternando entre su forma molecular y su forma iónica. En el agua pura, el número de iones hidrógeno y de iones hidróxido está equilibrado, de manera que no causan daño a los seres vivos.

La relación entre la concentración de iones hidrógeno y la concentración de iones hidróxido se mide mediante la escala del pH. En los apartados siguientes se explica la escala del pH y cómo los organismos se regulan a sí mismos cuando su pH se desequilibra.

La escala del pH

A principios del siglo xx, los científicos idearon la *escala del pH*, un sistema para clasificar la acidez o la alcalinidad de una solución. El pH simboliza la concentración de iones hidrógeno en una solución. La escala del pH va de 1 a 14. El pH 7 es el valor neutro, es decir, en una solución con un pH igual a 7 hay el mismo número de iones hidrógeno que de iones hidróxido, como en el agua pura.

Una solución que contiene más iones hidrógeno que iones hidróxido es *ácida*, y su pH es menor que 7. Si una molécula libera iones hidrógeno en presencia de agua, es un ácido. Cuantos más iones hidrógeno libera, más fuerte es el ácido y más bajo es el valor pH.

Una solución que contiene más iones hidróxido que iones hidrógeno es *alcalina*, y su pH es mayor que 7. Las bases se disocian en iones hidróxido (OH^-) y un ión positivo. Los iones hidróxido pueden combinarse con H^+ y se forma agua. Como se utilizan iones hidrógeno, el número de estos iones que hay en la solución disminuye, de manera que la solución se vuelve menos ácida y, por tanto, más alcalina. Así pues, cuantos más iones hidróxido libere una molécula (o cuantos más iones hidrógeno absorba), más alcalina será.

La tabla 3-1 muestra el pH de varias sustancias de uso común, y puede servirte para hacerte una idea de la escala del pH.

Tabla 3-1: El pH de algunas sustancias comunes

<i>pH</i>	<i>Sustancias</i>
0 (más ácido)	Ácido clorhídrico (HCl)
1	Ácido de batería
2	Zumo de limón, vinagre, ácidos estomacales
3	Refresco de cola, manzanas
4	Cerveza
4,5	Tomates
5	Café solo, plátanos
5,5	Agua de lluvia normal
6	Orina
6,5	Saliva, leche
7 (neutro)	Agua, lágrimas
7,5	Sangre humana
8	Agua de mar, huevos
9	Levadura química, antácidos
10	El Gran Lago Salado
11	Amoniaco
12	Bicarbonato sódico, agua jabonosa
13	Limpiador de hornos, lejía
14 (más alcalino)	Hidróxido sódico (NaOH), limpiatuberías líquido

Tampones

En los organismos, la sangre y el citoplasma son soluciones en las que flotan los iones que son necesarios (por ejemplo los electrolitos). Por eso el pH de la mayoría de las sustancias del cuerpo está alrededor de 7, que marca el valor neutro. Sin embargo, nada es perfecto, de manera que el cuerpo humano tiene un mecanismo regulador por si las cosas se tuercen. Existe un sistema de

tampones que ayudan a neutralizar la sangre en caso de producirse una cantidad excesiva de iones hidrógeno o iones hidróxido.



Los *tampones* mantienen estable el pH de una disolución combinándose con los iones hidrógeno (H^+) o iones hidróxido (OH^-) sobrantes. Vienen a ser como esponjas para estos iones. Si una sustancia libera iones hidrógeno o iones hidróxido en una disolución tamponada, los tampones *absorben* los iones sobrantes.

Los tampones más comunes en el cuerpo humano son el ión bicarbonato (HCO_3^-) y el ácido carbónico (H_2CO_3). El ión bicarbonato transporta dióxido de carbono por el torrente sanguíneo hasta los pulmones (en el capítulo 15 encontrarás más información sobre el sistema respiratorio), pero también actúa como tampón. Al absorber el exceso de iones hidrógeno, el ión bicarbonato forma ácido carbónico e impide que el pH de la sangre baje demasiado. Si ocurre la situación contraria y el pH de la sangre aumenta en exceso, el ácido carbónico se disocia para liberar iones hidrógeno, que se encargan de restablecer el equilibrio.



Si el sistema tamponador no funciona como debe y el pH baja demasiado, el organismo puede sufrir *acidosis* (es decir, la sangre se vuelve demasiado ácida). Si ocurre lo contrario y el pH aumenta demasiado, el organismo puede sufrir *alcalosis* (es decir, la sangre se vuelve demasiado alcalina).

Moléculas formadas por carbono: la base de la vida

Todos los seres vivos dependen de un tipo de molécula en particular: el carbono. El átomo de carbono, con sus seis protones y una capa exterior de cuatro electrones, es el pilar básico de la *química orgánica*, la rama de la

química que estudia los seres vivos. Cuando el carbono se combina con hidrógeno (cosa que ocurre a menudo en las moléculas orgánicas), los átomos de ambos elementos comparten un par de electrones en un enlace covalente. Las moléculas que tienen muchos enlaces carbono-hidrógeno se llaman *hidrocarburos*. El nitrógeno, el azufre y el oxígeno también suelen unirse al carbono en los organismos.

Entonces, ¿de dónde vienen las moléculas que contienen carbono? La respuesta es sencilla: del alimento. Algunos seres vivos, como las personas, necesitan comer otros seres vivos para alimentarse, pero existen organismos, como las plantas, capaces de fabricar su propio alimento (a partir de algunas sustancias que captan del medio en el que viven). Con independencia de dónde proceda el alimento, todos los seres vivos lo utilizan para aprovisionarse de moléculas que contienen carbono.

Los átomos de carbono son fundamentales para todos los organismos, ya que están presentes en los hidratos de carbono, las proteínas, los ácidos nucleicos y los lípidos, que son los materiales estructurales (las biomoléculas) de todos los seres vivos. En los apartados siguientes se describen las funciones de esos materiales.

Hidratos de carbono: fuentes de energía

Los hidratos de carbono, o carbohidratos, como su propio nombre indica, se componen de carbono, hidrógeno y oxígeno.

La fórmula básica de los hidratos de carbono es CH_2O , lo que significa que la estructura fundamental de un hidrato de carbono es un átomo de carbono, dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno.

Esta fórmula admite múltiplos; por ejemplo, la glucosa tiene la fórmula $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, que equivale a multiplicar por seis la proporción original, pero continúa teniendo la misma composición básica.



Pero ¿qué es un hidrato de carbono? Bueno, los *hidratos de carbono*

son compuestos cargados de energía. Los seres vivos pueden descomponer los hidratos de carbono rápidamente para convertirlos en una fuente de energía casi inmediata. Sin embargo, la energía suministrada por los hidratos de carbono no dura mucho. Por esta razón las reservas de hidratos de carbono del organismo tienen que reponerse con frecuencia, y por eso te entra hambre cada cuatro horas aproximadamente. Aunque los hidratos de carbono son una fuente de energía, también actúan como elementos estructurales (por ejemplo, la pared exterior de las células vegetales).

Los hidratos de carbono pueden adoptar las siguientes formas:

- ✓ **Monosacáridos.** Los azúcares simples que tienen de tres a siete átomos de carbono son *monosacáridos* (fíjate en la figura 3-3a). En los seres vivos, los monosacáridos crean estructuras con forma de anillo y pueden unirse para formar azúcares más largos. El monosacárido más común es la glucosa.
- ✓ **Disacáridos.** Dos moléculas de monosacáridos juntas forman un *disacárido* (como en la figura 3-3b). Entre los disacáridos más comunes se encuentran la sacarosa (azúcar común) y la lactosa (el azúcar que contiene la leche).
- ✓ **Oligosacáridos.** Cuando se juntan más de dos monosacáridos, pero no muchos más, se forma un *oligosacárido* (observa la figura 3-3c). Los oligosacáridos son marcadores importantes del exterior de las células (en el capítulo 4 encontrarás más información sobre las células). Un ejemplo serían los oligosacáridos que determinan si tu grupo sanguíneo es A o B (las personas del grupo O no tienen ningún oligosacárido en particular).
- ✓ **Polisacáridos:** una cadena larga de moléculas de monosacáridos es un *polisacárido* (puedes mirar la figura 3-3d). Algunas de esas macromoléculas son enormes, y cuando decimos enormes queremos decir que pueden tener miles de moléculas de monosacáridos unidas. El almidón y el glucógeno, que sirven para almacenar hidratos de carbono en las plantas y los animales, respectivamente, son ejemplos de polisacáridos.

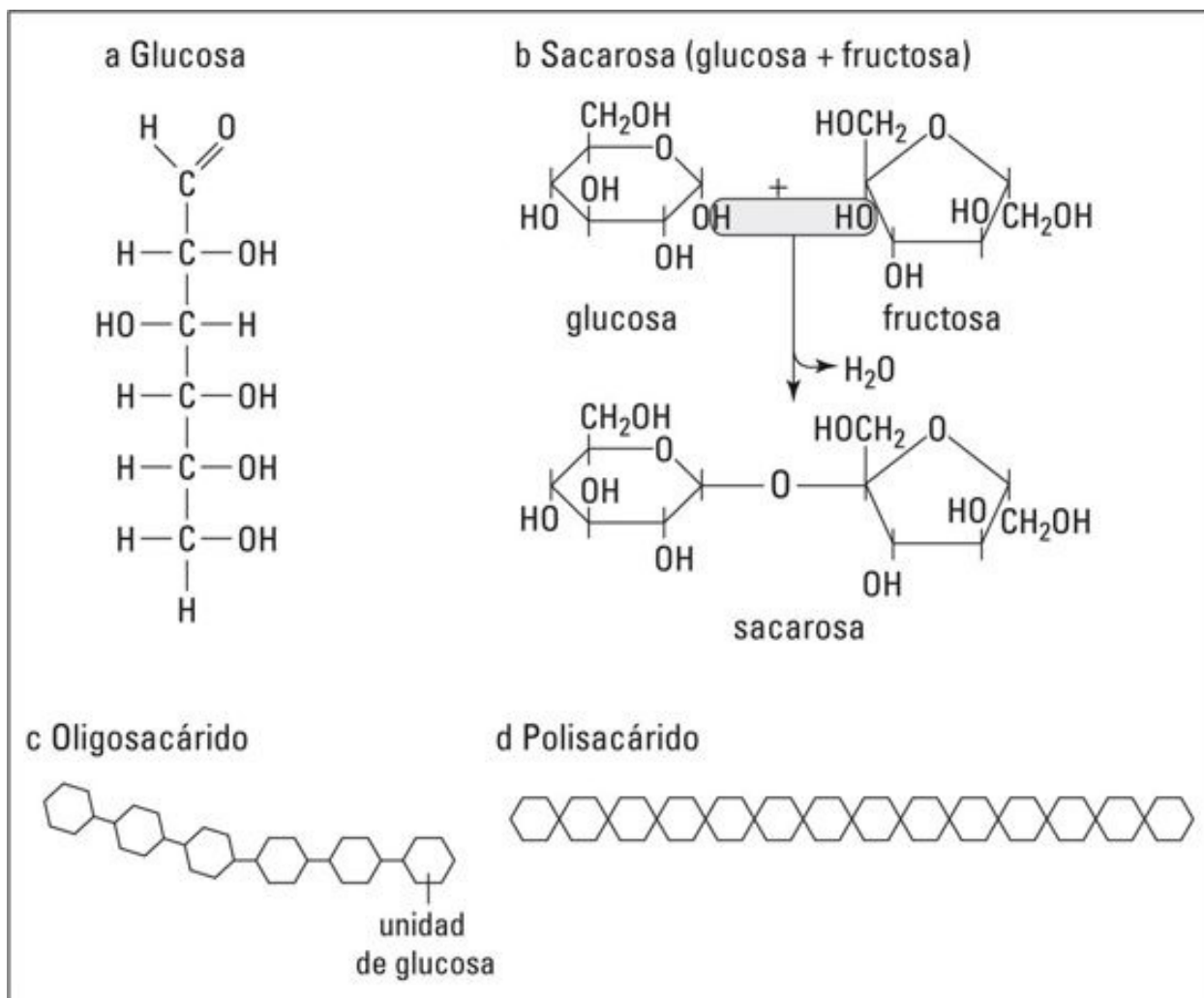


Figura 3-3:
Varias moléculas de hidratos de carbono.

¿Son tan buenos los azúcares *naturales*?

Los azúcares son fuente importante de energía y carbono para los seres vivos. Sin embargo, mucha gente tiene una relación de amor-odio con el azúcar. El consumo excesivo de azúcares como la sacarosa puede provocar obesidad, diabetes y caries, y por eso a veces se cree que el azúcar es perjudicial para el cuerpo. Esta percepción ha hecho que una rama enorme de la industria alimentaria se dedique a encontrar alternativas a la sacarosa. Algunos productos se publicitan como más sanos porque contienen azúcares *naturales* como la fructosa (el azúcar de la fruta). Sin embargo, la fructosa no es tan diferente de la sacarosa. De hecho, es uno de los dos monosacáridos que forman parte de la sacarosa. La fructosa es una molécula de azúcar de seis átomos de carbono que se digiere un poco más despacio que la glucosa y tiene un sabor más dulce. Por lo tanto, teóricamente puede utilizarse menos cantidad de fructosa para conseguir el mismo efecto que la sacarosa o la glucosa. Sin embargo, el poder edulcorante

de la fructosa depende del alimento en que se utilice. Generalmente no existe apenas diferencia nutricional entre los alimentos endulzados con sacarosa y los endulzados con fructosa. Además, gran parte de la fructosa que se comercializa no se extrae de la fruta, sino que se obtiene a partir de sacarosa. Por lo tanto, aunque hablar de azúcares naturales quizá suene mejor, las diferencias son tan pequeñas que el cuerpo ni lo nota.



Fíjate en que la mayoría de los nombres de hidratos de carbono terminan en *-osa*. Glucosa, fructosa, ribosa, sacarosa, maltosa, etc., son nombres de azúcares. Un *azúcar* es un hidrato de carbono que se disuelve en agua, tiene sabor dulce y puede formar cristales. Vamos, como el azúcar que echas en el café.

En los siguientes apartados explicamos cómo interaccionan los azúcares entre sí y cómo almacena el cuerpo humano un hidrato de carbono en particular llamado glucosa.

Síntesis y descomposición de los azúcares

Los monosacáridos se enlazan unos con otros mediante un proceso llamado *síntesis por deshidratación*, en el cual dos moléculas se unen y pierden una molécula de agua. La figura 3-3b muestra cómo la glucosa y la fructosa se unen para formar sacarosa mediante una reacción de síntesis por deshidratación.



El término *síntesis por deshidratación* quizá suene algo técnico, pero no lo es en absoluto si te paras a pensar en el significado de las palabras. La deshidratación, como seguro que ya sabrás, es lo que ocurre cuando no bebes suficiente agua. Tu cuerpo se seca porque algunas células, por ejemplo las de la lengua, se quedan sin agua (aunque no del todo) para que otras células más importantes, por ejemplo las del corazón o las del cerebro, continúen funcionando. *Síntesis* significa crear algo. Por lo tanto, en la síntesis por deshidratación tiene que crearse algo cuando se pierde agua. Y eso es

exactamente lo que ocurre. Cuando la glucosa y la fructosa se unen, los monosacáridos pierden una molécula de agua que se convierte en un subproducto de la reacción.

Lo opuesto de la síntesis por deshidratación es la hidrólisis. En una reacción de *hidrólisis*, una molécula de azúcar grande se descompone en sus monosacáridos originales. La hidrólisis se produce porque una molécula de agua provoca la división de un compuesto (de *hidro*, ‘agua’ y *lisis*, ‘romper’). En presencia de agua, la sacarosa se divide en glucosa y fructosa.

Convertir glucosa con fines de almacenamiento

Los hidratos de carbono están presentes en casi todos los alimentos, no solo en el pan y la pasta. Las frutas, las verduras e incluso las carnes contienen, aunque no muchos, hidratos de carbono. Básicamente, cualquier alimento que contenga azúcar tiene hidratos de carbono, y la mayoría de los alimentos se convierten en azúcares al ser digeridos.

Cuando digieres la comida, los hidratos de carbono que contiene se dividen en azúcares simples, como la glucosa. A continuación, las moléculas de glucosa son absorbidas por las células intestinales y pasan al torrente sanguíneo, que las transporta por todo el cuerpo. La glucosa entra en todas y cada una de las células del cuerpo y en ellas se utiliza como fuente de carbono y energía.

Como la glucosa es una fuente de energía rápida, los organismos suelen tener a mano cierta cantidad de ella. Para eso, la almacenan en varios polisacáridos que pueden descomponerse rápidamente si se necesita energía. La glucosa puede almacenarse en dos formas:

- ✓ **Glucógeno.** Los animales, entre ellos los humanos, almacenan un polisacárido de la glucosa llamado *glucógeno*. Tiene una estructura compacta, de manera que puede almacenarse en grandes cantidades en las células para utilizarlo después. El hígado, en particular, tiene una gran reserva de glucógeno que gastas cuando haces ejercicio físico.
- ✓ **Almidón.** Las plantas almacenan la glucosa en forma de un polisacárido llamado *almidón*. Las hojas de la planta producen azúcar mediante la fotosíntesis y luego almacenan parte de ese azúcar en forma de almidón. Cuando es necesario recuperar los azúcares simples para gastarlos, el

almidón se divide en sus componentes más pequeños.



Las plantas también fabrican otro polisacárido de la glucosa llamado *celulosa*. En lugar de servir como medio de almacenamiento, la celulosa tiene una función estructural, ya que da rigidez a las células de las plantas. La mayoría de los animales (incluidas las personas) no pueden digerir la celulosa debido al tipo de enlaces entre las moléculas de glucosa que la forman. Como la celulosa pasa por el tubo digestivo sin sufrir apenas cambios, ayuda a mantener la salud intestinal (forma parte de la llamada fibra alimentaria, que favorece el tránsito intestinal).

Proteínas: los pilares de la vida

Sin las proteínas, los seres vivos no existirían. Muchas proteínas proporcionan estructura a las células, mientras que otras se unen a moléculas importantes y las transportan por todo el cuerpo. Algunas proteínas intervienen en reacciones del organismo cuando actúan como enzimas (más información al respecto en el capítulo 4), otras participan en la contracción muscular y otras en las respuestas inmunitarias. Hay tantos tipos de proteínas que no podemos hablarte aquí de todos ellos. Lo que sí podemos explicarte, sin embargo, son los aspectos básicos de su estructura y sus funciones más importantes.

Los bloques elementales de las proteínas

Los *aminoácidos*, de los cuales hay veinte, son la base de todas las proteínas. Si una proteína fuera un tren, los aminoácidos serían los vagones. La figura 3-4 muestra el aspecto de uno cualquiera de ellos, ya que todos tienen la misma estructura básica.

La información genética contenida en las células requiere que los aminoácidos estén enlazados en un determinado orden, formando unas cadenas llamadas *cadenas polipeptídicas*. Igual que ocurre con los azúcares, los aminoácidos se unen unos con otros mediante la síntesis por deshidratación (explicada anteriormente en el apartado “Síntesis y descomposición de los azúcares”), y

cada cadena polipeptídica está formada por un número diferente de aminoácidos en un orden concreto y único (si fuera otro la proteína ya no funcionaría bien).

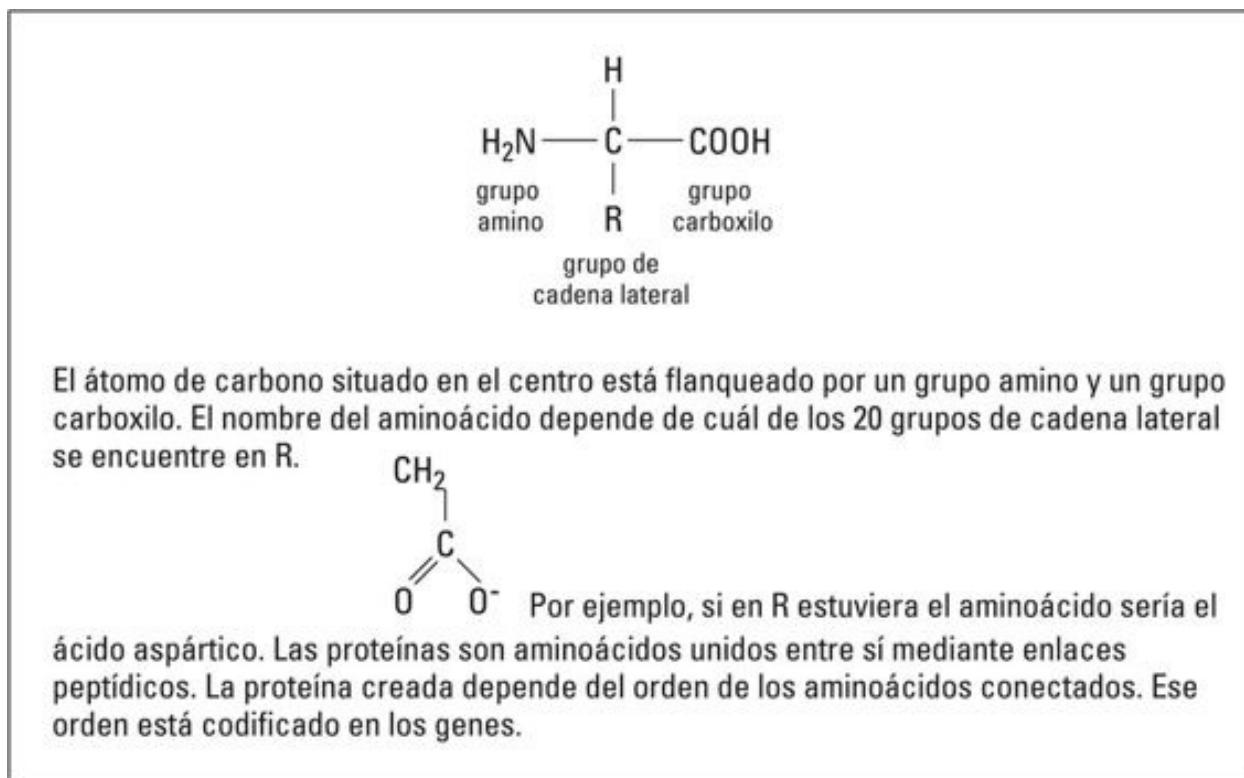


Figura 3-4:
Estructura de los aminoácidos.

Funciones principales de las proteínas

Una o más cadenas polipeptídicas se unen para formar *proteínas* funcionales. Una vez formada, cada proteína realiza una determinada tarea o constituye un determinado tejido corporal.

- ✓ **Las enzimas son proteínas que aceleran las reacciones químicas.** Los procesos metabólicos no ocurren automáticamente, sino que requieren la intervención de enzimas (más información en el capítulo 4).
- ✓ **Las proteínas estructurales refuerzan las células y los tejidos.** El *colágeno*, una proteína estructural que hay en el *tejido conectivo* (el tejido que une los músculos para hacer posible el movimiento), es la proteína más abundante en los animales vertebrados. El tejido conectivo

incluye ligamentos, tendones, cartílago, tejido óseo e, incluso, la córnea del ojo. Proporciona sostén al cuerpo y además es muy flexible y resistente a la elongación.

- ✓ **Las proteínas transportadoras se encargan de transportar materiales desde y hacia el interior de las células y por todo el cuerpo.** La *hemoglobina* es una proteína transportadora presente en los glóbulos rojos que distribuye oxígeno por el cuerpo. Una molécula de hemoglobina tiene una forma parecida a un trébol de cuatro hojas tridimensional sin tallo. Cada hoja del trébol es una cadena polipeptídica distinta. En el centro del trébol, pero en contacto con todas las cadenas polipeptídicas, hay un grupo hemo con un átomo de hierro en el centro. Cuando tiene lugar el intercambio gaseoso entre los pulmones y un glóbulo rojo (en el capítulo 15 encontrarás más información sobre la respiración y la circulación), el átomo de hierro se une al de oxígeno. A continuación, el complejo hierro-oxígeno se separa de la molécula de hemoglobina que hay en el glóbulo rojo, de manera que el oxígeno puede atravesar las membranas celulares y penetrar en cualquier célula del organismo.

Ácidos nucleicos: dibujar el mapa celular

Hasta la década de 1940, los científicos pensaban que la información genética se transportaba en las proteínas. Estaban convencidos de que los ácidos nucleicos, entonces recién descubiertos, eran demasiado pequeños como para tener importancia. Todo eso cambió en 1953, cuando James Watson y Francis Crick descubrieron la estructura de los ácidos nucleicos y demostraron que, en realidad, son estos los que crean las proteínas.

Los *ácidos nucleicos* son proteínas de gran tamaño que transportan muchísimos pequeños detalles, concretamente toda la información genética de un organismo. Los ácidos nucleicos están presentes en todos los seres vivos: plantas, animales, bacterias y hongos. Reflexiona unos instantes sobre este hecho. Las personas somos muy diferentes de los hongos, y el comportamiento de las plantas no tiene nada que ver con el de las bacterias,

pero a escala microscópica todos los seres vivos contienen los mismos *ingredientes* químicos, que crean un material genético muy similar.



Los ácidos nucleicos están formados por cadenas de *nucleótidos*. Cada nucleótido está formado por tres componentes:

- ✓ Una base que contiene nitrógeno; por eso se llama *base nitrogenada*.
- ✓ Un azúcar que contiene cinco átomos de carbono.
- ✓ Un grupo fosfato.

Y eso es todo. Toda tu composición genética, tu personalidad y puede que incluso tu inteligencia están basadas en moléculas que contienen un compuesto de nitrógeno, un azúcar y un fosfato. En los apartados siguientes verás los dos tipos de ácidos nucleicos que existen.

Ácido desoxirribonucleico (ADN)

A lo mejor has oído decir que el ADN (abreviatura de *ácido desoxirribonucleico*) tiene una estructura de doble hélice. La razón es que el ADN contiene dos cadenas de nucleótidos dispuestas de una forma que se asemeja a una escalera retorcida. Puedes verlo en la figura 3-5.

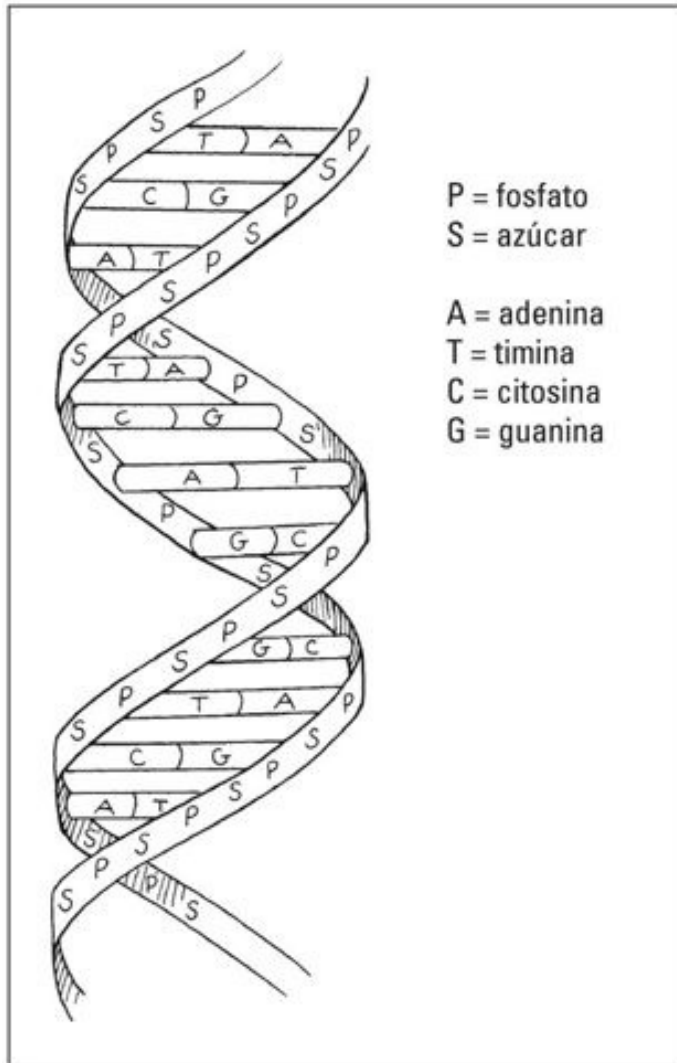


Figura 3-5:
La doble hélice del ADN con forma de escalera retorcida.

Los laterales de la escalera están formados por moléculas de azúcar (uno en concreto que se llama *desoxirribosa*) y fosfato, de ahí el nombre de “esqueleto de azúcar-fosfato”. Los travesaños de la escalera de ADN consisten en pares de bases nitrogenadas de las dos cadenas laterales.



Las bases nitrogenadas sobre las cuales el ADN construye la doble hélice son adenina (A), guanina (G), citosina (C) y timina (T). El orden de estas letras determina la dotación genética. Por raro que parezca, las bases siempre se emparejan de una determinada manera: la adenina se junta con

timina (A-T), y la guanina siempre va con la citosina (G-C). Estos *pares de bases* se colocan de manera que entre ellos puedan formarse puentes de hidrógeno.

Un segmento de bases nitrogenadas a lo largo de una cadena de ADN forma un gen. Un *gen* es una unidad que contiene la información o secuencia genética para una proteína en particular y transmite información hereditaria a la siguiente generación. Cada vez que se crea una nueva célula en un organismo, el material genético se reproduce y se ubica en esa célula (encontrarás más información al respecto en el capítulo 6). A continuación, la nueva célula puede crear proteínas y transmitir la información genética a la siguiente nueva célula.

Sin embargo, los genes no se encuentran solo en las células reproductoras. Todas las células de un organismo contienen ADN (y, por tanto, genes) porque todas ellas tienen que fabricar proteínas. Las proteínas controlan muchos aspectos de la función celular y proporcionan estructura. Por lo tanto, la información original de la vida está guardada en todas y cada una de las células de un organismo.

Ácido ribonucleico (ARN)

El ARN, abreviatura de *ácido ribonucleico*, es una cadena de nucleótidos que actúa como transmisor de información. Desempeña un papel fundamental en la creación de nuevas proteínas (se trata en el capítulo 8). La estructura del ARN es un poco distinta de la estructura del ADN.

- ✓ Las moléculas de ARN solo tienen una cadena de nucleótidos.
- ✓ Las bases nitrogenadas utilizadas son adenina, guanina, citosina y uracilo (en lugar de timina).
- ✓ El azúcar del ARN es la ribosa (no la desoxirribosa).

El orden de las bases nitrogenadas de una cadena de ADN (o de una sección de ADN que forma un gen) es concreto y determinado en cada especie. A partir de cada cadena de ADN se forma una cadena de ARN, también con una secuencia determinada e invariable, gracias a que, recuerda, las bases nitrogenadas no se unen de cualquier manera sino que las parejas son

específicas.

Pues bien, la cadena de ARN (formada según la pauta marcada por el ADN) determina el orden en que los aminoácidos se unen entre sí para formar una proteína. Y, a su vez, la proteína formada determina qué elemento estructural se creará en el organismo (por ejemplo tejido muscular, piel o cabello) o qué función podrá llevarse a cabo (por ejemplo el transporte de oxígeno a todas las células).



Todos los procesos celulares y todos los aspectos del metabolismo están basados en la información genética contenida en el ADN y, por tanto, en la producción de las proteínas correctas. Si se fabrica la proteína equivocada (como ocurre con el cáncer), aparece una enfermedad o una malformación.

Lípidos: estructura, energía y mucho más

Además de los hidratos de carbono, las proteínas y los ácidos nucleicos, el organismo necesita otro tipo de moléculas de gran tamaño para sobrevivir. Sin embargo, si eres como la mayoría de la gente, posiblemente procures evitar una ingesta excesiva de ellas en tu dieta. Estamos hablando de las grasas, que pueden ser tanto una bendición como una maldición debido a su elevadísima *densidad energética* (la capacidad de almacenar un montón de calorías en muy poco espacio). La densidad energética de las grasas las convierte en una forma extremadamente eficiente de almacenar energía, algo muy útil para un ser vivo cuando no dispone de alimento. Sin embargo, esa misma densidad energética hace que resulte muy fácil engordar al comer alimentos grasos.

Las grasas son un ejemplo de lípidos. Los *lípidos* son moléculas *hidrofóbicas*, es decir, no se mezclan bien con el agua. Probablemente hayas oído decir alguna vez que dos personas son como agua y aceite cuando tienen formas de ser muy distintas. El aceite es un lípido en estado líquido, de manera que el dicho tiene su razón de ser; es cierto que es insoluble en agua. La mantequilla y la manteca son ejemplos de lípidos sólidos, lo mismo que las ceras, valoradas por sus propiedades hidrofóbicas en tablas de *snowboard*,

esquíes y automóviles.



Hay tres grandes tipos de moléculas de lípidos:

- ✓ **Fosfolípidos.** Estos lípidos, compuestos por dos ácidos grasos y un grupo fosfato, poseen una importante función estructural para los seres vivos porque forman parte de las membranas de las células (en el capítulo 4 encontrarás más información sobre las membranas celulares). Los fosfolípidos no son el tipo de lípido que flota en el torrente sanguíneo y obstruye las arterias.
- ✓ **Esteroides.** Estos compuestos lipídicos, formados por cuatro anillos de carbono conectados entre sí y un grupo funcional que determina el esteroide, generalmente tienen la misión de crear hormonas. El *colesterol* es una molécula esteroidea utilizada para producir testosterona y estrógeno, y también se encuentra en las membranas de las células. La parte mala del colesterol es que otros lípidos lo transportan por el organismo. Si hay demasiado colesterol flotando en el torrente sanguíneo, significa que también hay un exceso de grasas que lo transportan. Esa situación es problemática porque las grasas y las moléculas de colesterol forman una especie de grumos, que pueden quedarse atascados en los vasos sanguíneos y causar obstrucciones que a su vez dan lugar a infartos de miocardio o accidentes cerebrovasculares (o ictus).
- ✓ **Triglicéridos.** Estas grasas y aceites, compuestas por tres moléculas de ácidos grasos y una molécula de glicerol, son importantes para el almacenamiento de energía y para el aislamiento. En las personas, las grasas se forman debido a un exceso de glucosa. Después de que el hígado haya almacenado toda la glucosa posible en forma de glucógeno, el sobrante se convierte en triglicéridos (tanto los azúcares como las grasas están hechos de carbono, hidrógeno y oxígeno, de manera que las células simplemente reorganizan los átomos para pasar de un tipo de molécula a otro). Los triglicéridos flotan por el torrente sanguíneo y se

depositan en el *tejido adiposo* (la grasa blanda que tienes en el cuerpo). El tejido adiposo se compone de muchas moléculas de grasa. Cuantas más moléculas de grasa se añaden al tejido adiposo, más abulta este tejido (y la zona del cuerpo donde se encuentra).

Que un triglicérido sea una grasa o un aceite depende de los enlaces entre los átomos de carbono e hidrógeno.

- Las grasas contienen muchos enlaces simples entre sus átomos de carbono. Estos *enlaces saturados* se agrupan fácilmente (mira la figura 3-6), y por eso las grasas son sólidas a temperatura ambiente.
- Los aceites contienen muchos enlaces dobles entre sus átomos de carbono. Estos *enlaces insaturados* no se agrupan fácilmente (mira la figura 3-6), y por eso los aceites son líquidos a temperatura ambiente.

La grasa proporciona una reserva de energía para el organismo. Una vez que se ha gastado toda la glucosa almacenada (y eso ocurre en poco tiempo porque los azúcares se queman rápidamente en condiciones aeróbicas), el cuerpo empieza a descomponer glucógeno, que se almacena sobre todo en el hígado y en los músculos. Las reservas de glucógeno del hígado tienen una duración aproximada de doce horas. A partir de ese momento, el cuerpo empieza a descomponer tejido adiposo para recuperar parte de la energía almacenada. Por esta razón el ejercicio aeróbico es la mejor manera de perder grasa, siempre y cuando, claro está, gastes más calorías de las que ingieras ese día (observa que hemos dicho perder grasa, no kilos. Los kilos tienen en cuenta toda la composición corporal: tejido graso, tejido muscular y hueso, así como agua, los órganos internos, la piel y otras cosas).

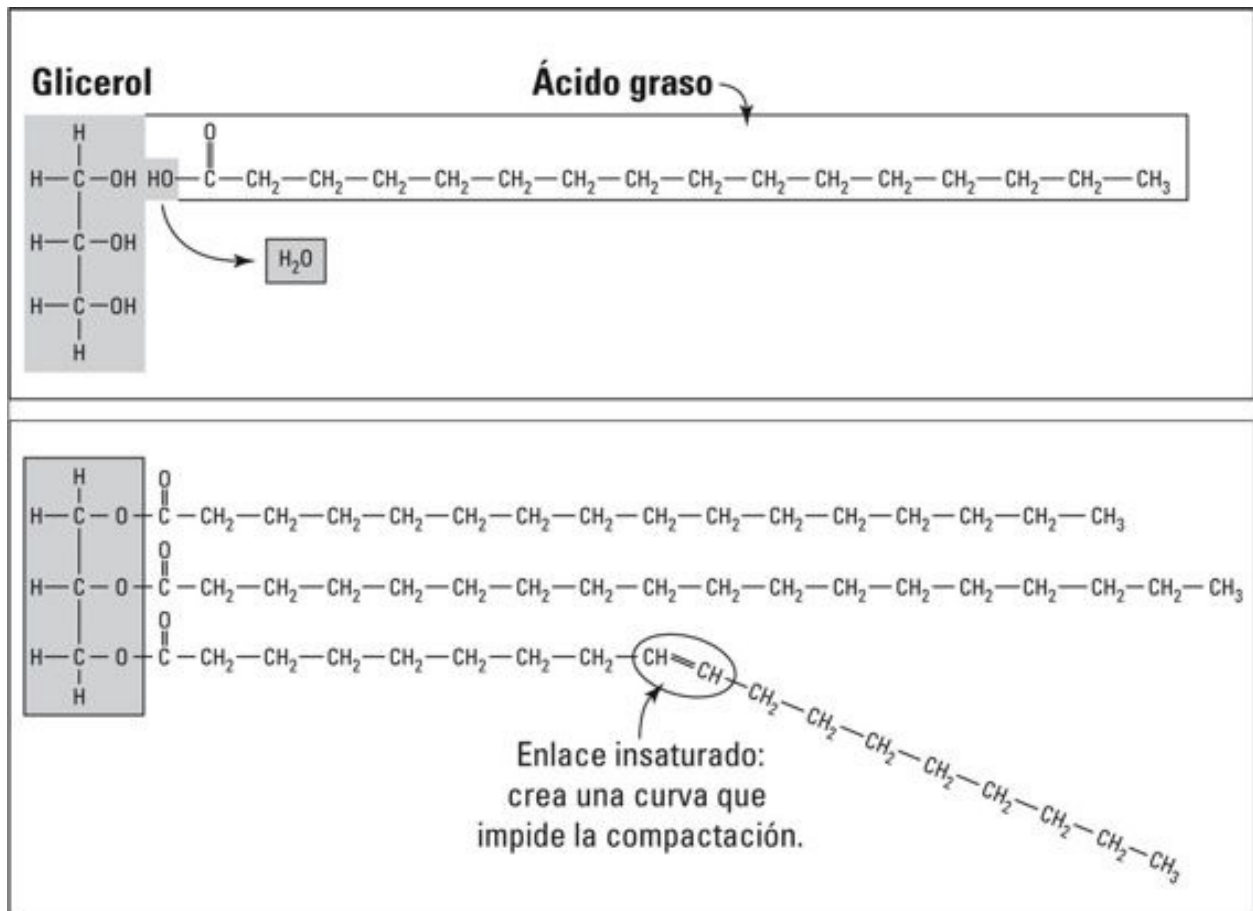


Figura 3-6:
Enlaces saturados e insaturados en un triglicérido típico.

Capítulo 4

La célula viva

En este capítulo

- ▶ Averiguar qué hace que las células sean las unidades básicas de la vida
 - ▶ Acercarse a la estructura de las células procariotas y de las eucariotas
 - ▶ Descubrir de qué manera las enzimas aceleran las reacciones
-

Todos los seres vivos tienen células. Los organismos más pequeños solo tienen una, pero están tan vivos como tú. ¿Qué es exactamente una célula? Dicho de forma sencilla, es la unidad viva más pequeña de un organismo, incluido un ser humano como tú. Sin las células, serías una masa informe de sustancias químicas que rezumarían al entorno. Quédate con la idea de que la célula es la unidad fundamental de la vida.

En este capítulo veremos el propósito y la estructura de las células. Y como en las células tienen lugar reacciones químicas gracias a las cuales ocurren cosas, también te hablaremos de las *enzimas*, unas proteínas que ayudan a que esas reacciones químicas se desarrollen más rápidamente.

Características generales de las células

Las *células* son unas bolsas de líquido reforzadas por proteínas y rodeadas por una membrana. En el líquido se hallan *orgánulos*, que son estructuras internas que intervienen en los procesos metabólicos (en efecto, un organismo contiene

partes que son más pequeñas que una célula, pero esas estructuras no pueden llevar a cabo por sí solas todas las funciones de la vida, de manera que se considera que no están vivas). Puedes ver un esquema de una célula vegetal en la figura 4-1.



Una célula de un organismo es la parte más pequeña de él que conserva las características del organismo completo. Por ejemplo, una célula puede absorber combustible, convertir ese combustible en energía y eliminar residuos, igual que hace un organismo entero. Como en las células se desarrollan las funciones vitales, la célula es la unidad de vida más pequeña que existe.

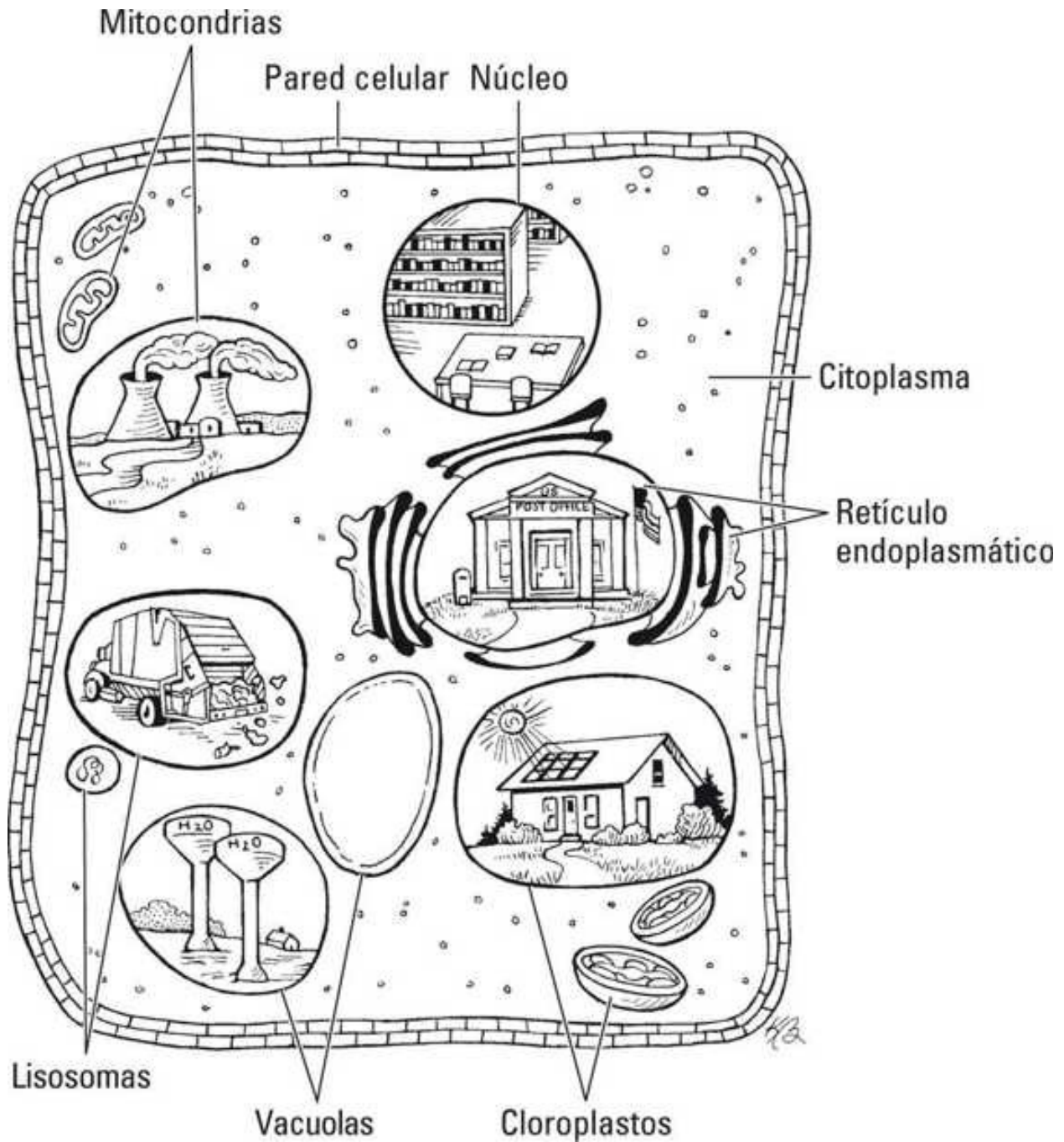


Figura 4-1:
Esquema de una célula vegetal.

Las células pueden clasificarse de distintas formas, según su estructura o función o bien con arreglo a sus relaciones evolutivas. Atendiendo a la estructura, los científicos clasifican las células según su organización interna:

- ✓ Las células de los **organismos procariotas** no tienen un núcleo

verdadero y tampoco tienen orgánulos. Tanto las bacterias como los arqueos (o arqueobacterias) son organismos procariotas.

- ✓ Las células de los **organismos eucariotas** tienen un núcleo, dentro del cual se encuentra el material genético, y también tienen orgánulos. Las plantas, los animales, las algas y los hongos son organismos eucariotas.

Virus frente a bacterias

Los virus (como los que causan la gripe, el resfriado común o el sida) no están hechos de células. Aunque muchos virus te hacen enfermar, lo mismo que algunas bacterias, existen diferencias importantes entre ambos. Los virus son más simples que las bacterias y están formados por unas cuantas moléculas. De hecho, los virus tienen tan pocos elementos que ni siquiera pueden crecer y dividirse por sí solos. Para reproducirse necesitan entrar en una célula anfitriona y robarle su energía y nutrientes (en el capítulo 17 encontrarás los detalles sobre el modo en que los virus atacan a las células).

Organismos procariotas

Entre los organismos procariotas hay algunos que probablemente ya conozcas, como las bacterias *Escherichia coli* y *Streptococcus* (esta causa amigdalitis o faringitis estreptocócica), las algas de color azul verdoso que a veces proliferan en los lagos o los cultivos de bacterias vivas que hay en el yogur; y también algunos de los que quizá nunca hayas oído hablar, los arqueos o arqueobacterias (más información en el capítulo 10).

En cualquier caso, tengas noticia o no de un determinado organismo procariota, seguramente coincidirás en que las bacterias tienen bastante mala fama. Parece que solo son noticia cuando causan algún problema, por ejemplo enfermedades. Sin embargo, las bacterias llevan a cabo muchas tareas imprescindibles para las personas y para el resto de los seres vivos del planeta Tierra. Si salieran en los periódicos por las cosas buenas que hacen, leeríamos titulares como los siguientes:

- ✓ **¡Las bacterias se utilizan en la producción de alimentos destinados a las personas!** El yogur y el queso son deliciosos, afirman los humanos.
- ✓ **¡Las bacterias limpian nuestra porquería!** Las bacterias que degradan el petróleo salvan playas y otras ayudan a depurar las aguas fecales.
- ✓ **¡Las bacterias corporales normales ayudan a prevenir enfermedades!** Las bacterias que viven en el cuerpo humano pueden impedir la entrada de otras bacterias causantes de enfermedades.
- ✓ **¡Las bacterias son el sistema de reciclaje de la naturaleza!** Las bacterias liberan nutrientes al descomponer la materia muerta.
- ✓ **¡Las bacterias favorecen el crecimiento de las plantas!** Las bacterias fijadoras de nitrógeno asimilan el nitrógeno del aire y lo convierten en compuestos que las plantas pueden aprovechar.

Las células de los organismos procariotas tienen una estructura bastante simple, ya que carecen de las membranas internas y de los orgánulos que hay en las células eucariotas (más adelante en este mismo capítulo hablaremos de todas las estructuras presentes en las células eucariotas). La mayoría de las células procariotas (como la representada en la figura 4-2) comparten las siguientes características:

- ✓ En torno a la célula hay una membrana plasmática que forma una barrera. Por fuera de esa membrana hay una pared celular rígida que proporciona un sostén adicional.
- ✓ El ADN (el material genético) se encuentra en el citoplasma, formando una masa densa llamada nucleoide.
- ✓ Los ribosomas fabrican proteínas en el citoplasma.
- ✓ Los organismos procariotas degradan los alimentos por medio de la respiración celular (que requiere oxígeno, tal y como se explica en el capítulo 5) y de la fermentación, que es un proceso que no requiere oxígeno.

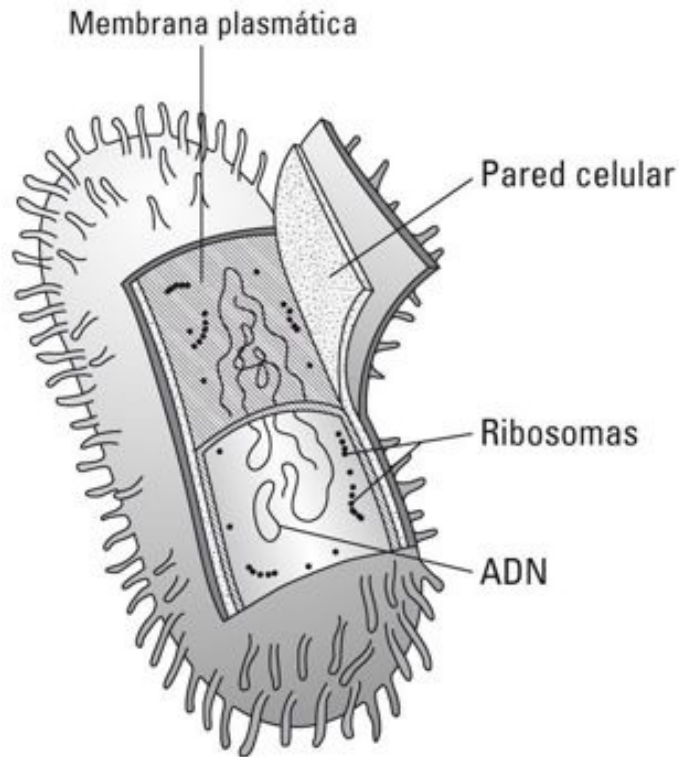


Figura 4-2:
Una célula procariota.

Estructura de las células eucariotas

Los seres vivos con los que probablemente estés más familiarizado (los seres humanos, las plantas y los hongos) son organismos eucariotas, pero no son los únicos miembros de esta familia. También lo son muchos microorganismos, por ejemplo algas microscópicas, las amebas y el plancton.

Los organismos eucariotas presentan las siguientes características (las figuras 4-3 y 4-4 muestran sendos esquemas de células eucariotas):

- ✓ Un núcleo donde se almacena el material genético.
- ✓ Una membrana plasmática que envuelve la célula y la separa de su entorno.
- ✓ Orgánulos como el retículo endoplasmático y el aparato de Golgi, que crean compartimientos especiales en el interior de las células.
- ✓ Un citoesqueleto hecho de proteínas que refuerza las células y controla

los movimientos celulares.

- ✓ Mitocondrias, que son orgánulos que utilizan el oxígeno para obtener energía y transferirla a una forma que las células puedan aprovechar.
- ✓ Cloroplastos que utilizan la energía de la luz solar, junto con agua y dióxido de carbono, para producir alimento (se encuentran exclusivamente en las células de plantas y algas).
- ✓ Una pared celular rígida por fuera de la membrana plasmática (solo en las células de plantas, algas y hongos; las células de los animales solo tienen una membrana plasmática y es blanda).

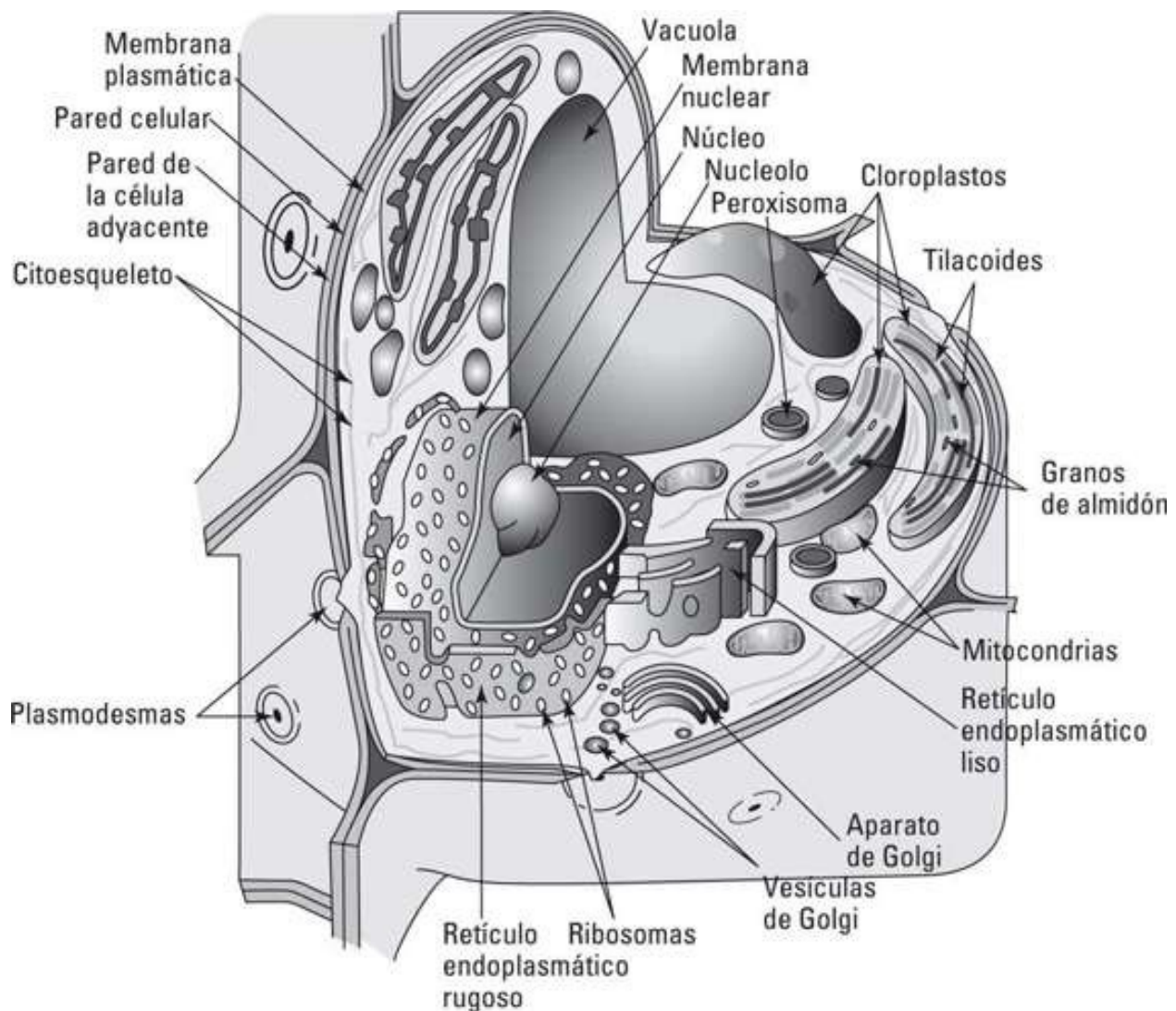


Figura 4-3:

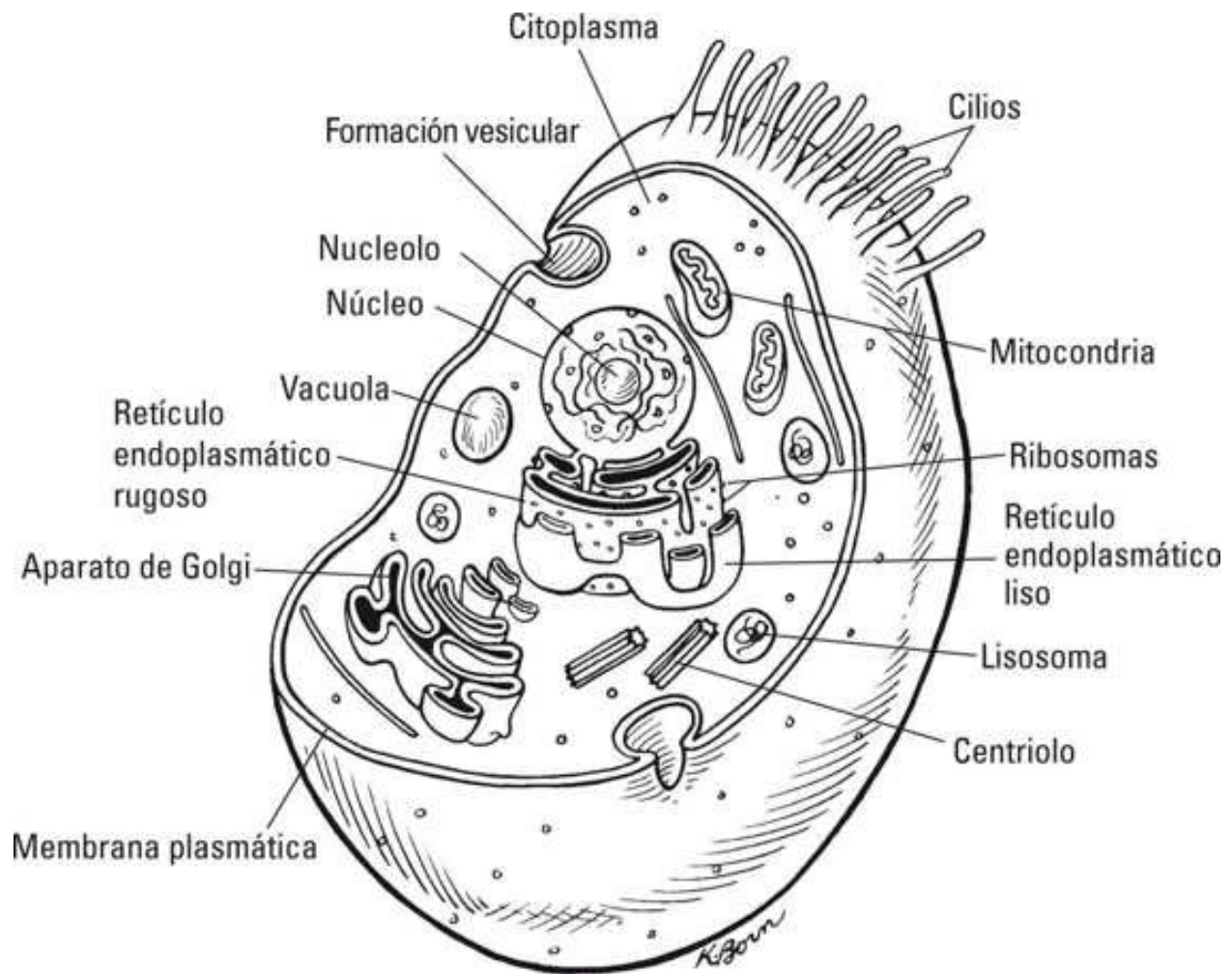


Figura 4-4:
Estructuras de una célula animal típica.

Células y orgánulos

El cuerpo está formado por órganos, que a su vez están hechos de tejidos, y estos de células. Igual que tú tienes órganos que llevan a cabo funciones concretas para tu cuerpo, las células tienen orgánulos que llevan a cabo funciones concretas para la célula. Algunos orgánulos se encargan de metabolizar los alimentos, y otros fabrican las estructuras que la célula necesita para funcionar.

En los apartados siguientes hablamos de los orgánulos presentes en las células

eucariotas y de sus funciones concretas.



Las células vegetales y animales son muy parecidas, pero presentan algunas diferencias significativas en sus orgánulos. Las células vegetales tienen cloroplastos, vacuolas centrales de gran tamaño y paredes celulares, mientras que las células animales no. Lo que sí tienen las células animales pero les falta a las células vegetales son *centriolos*, unas estructuras minúsculas que forman parte del citoesqueleto y aparecen durante la división celular animal.

La membrana plasmática: el delimitador

La membrana que envuelve las células, las separa de su entorno y al mismo tiempo permite que entren en contacto con él se llama *membrana plasmática* o *membrana celular*. La función de la membrana plasmática es aislar las reacciones químicas que tienen lugar en el interior de la célula para evitar la influencia de las sustancias químicas que haya fuera.



Una buena forma de recordar la función de la membrana plasmática es verla como una frontera internacional donde se controla todo lo que entra y sale de un determinado país.

El líquido del interior de una célula, llamado *citoplasma*, contiene todos los orgánulos, y es muy diferente del líquido que hay en el exterior de la célula (*cito* significa ‘célula’, y *plasma* significa ‘forma moldeable’. Por lo tanto, *citoplasma* literalmente quiere decir “forma moldeable de la célula”, lo cual viene al caso porque la membrana plasmática es lo que define la forma de la célula).

Las células animales están inmersas en una matriz de proteínas e hidratos de carbono llamada *matriz extracelular* (*extra* significa ‘fuera’, de modo que *extracelular* significa literalmente ‘fuera de la célula’). Las células vegetales

cuentan con el soporte de una estructura más sólida llamada *pared celular*, que rodea la célula por fuera de la membrana y está hecha de celulosa (que es un hidrato de carbono).

En la siguiente sección explicamos con detalle la estructura de la membrana plasmática y describimos el modo en que los materiales la atraviesan para que la célula se mantenga sana y pueda desempeñar su función.

El modelo de mosaico fluido

Las membranas plasmáticas constan de varios elementos, como si fueran un mosaico. Debido a esta semejanza con un mosaico, y al hecho de que las membranas son flexibles y fluidas, los científicos utilizan el término *modelo de mosaico fluido* para referirse a la estructura de la membrana. Hemos dibujado el modelo en la figura 4-5 para ayudarte a captar todos los elementos que componen una membrana plasmática.

De izquierda a derecha, observa en primer lugar la doble capa de fosfolípidos, que constituye la estructura base de la membrana plasmática. Los *fosfolípidos* son un tipo particular de lípidos (en el capítulo 3 encontrarás más información sobre lípidos). A la temperatura corporal, los fosfolípidos tienen la consistencia de un aceite vegetal denso, lo que permite que las membranas plasmáticas sean flexibles y fluidas. Cada molécula de fosfolípido tiene una cabeza hidrófila que atrae el agua y una cola hidrófoba que repele el agua (*hidro* significa ‘agua’, *filia* significa ‘amor’ y *fobia* significa ‘temor’, de manera que *hidrófilo* literalmente significa ‘que ama el agua’ e *hidrófobo* literalmente significa ‘que teme el agua’).

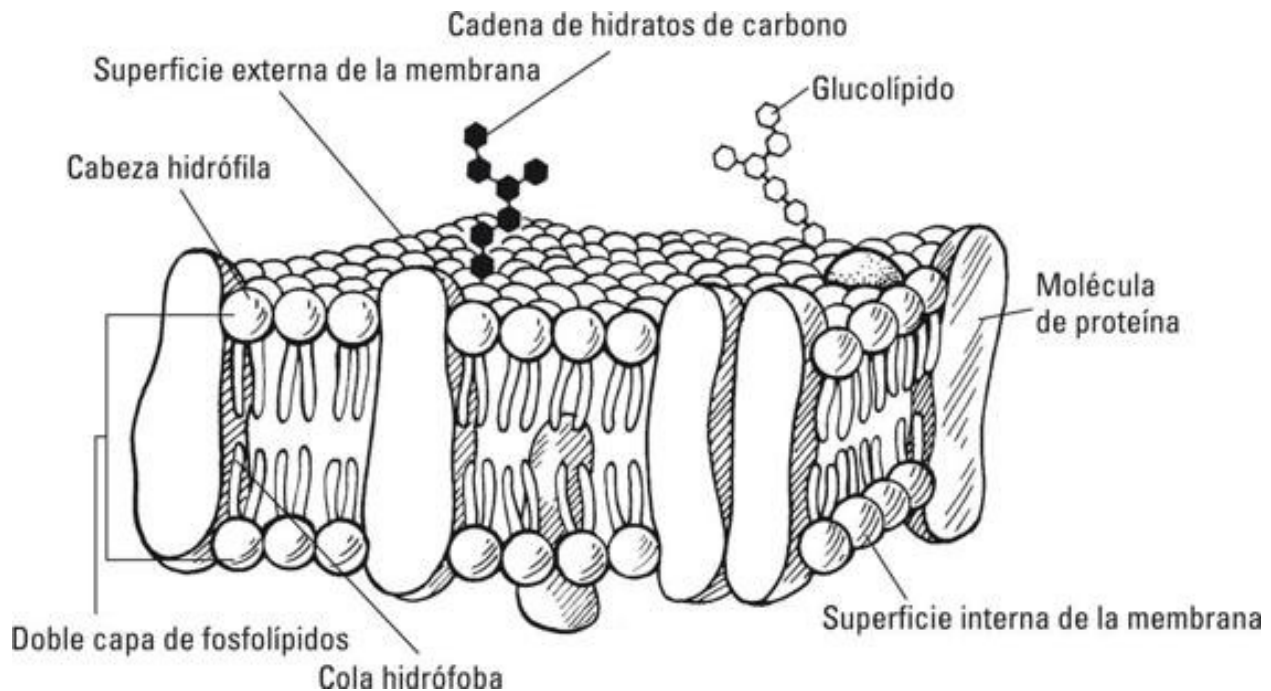


Figura 4-5:
Modelo de mosaico fluido de una membrana plasmática.



Las cabezas hidrófilas están orientadas hacia los medios acuosos que hay en el exterior y en el interior de la célula, atrapando entre ellas las colas hidrófobas para formar la doble capa de fosfolípidos (fíjate en la figura 4-5). Como las células se encuentran inmersas en una solución acuosa (la matriz extracelular) y en su interior también hay una disolución acuosa (el citoplasma), la membrana plasmática forma una esfera en torno a cada célula de forma que las cabezas hidrófilas estén en contacto con el líquido y las colas hidrófobas queden protegidas en el interior.

Además de los fosfolípidos, las proteínas son un componente fundamental de las membranas plasmáticas. Las proteínas están insertadas en la doble capa de fosfolípidos, pero pueden desplazarse por ella como barcos navegando por un océano de aceite.

El colesterol y los hidratos de carbono son componentes menos importantes de las membranas plasmáticas, pero también desempeñan un papel significativo.

- ✓ El colesterol confiere estabilidad a la membrana e impide que se solidifique cuando la temperatura corporal baja (literalmente evita que te congeles cuando te quedas *helado de frío*).
- ✓ Las cadenas de hidratos de carbono se sujetan a la superficie exterior de la membrana plasmática de cada célula. Cuando los hidratos de carbono se unen a los fosfolípidos, forman glucolípidos (y cuando se unen a las proteínas forman glucoproteínas). El ADN de cada organismo determina qué hidratos de carbono en particular se unen a las células, lo cual determina características como, por ejemplo, el tipo sanguíneo.

Transporte de materiales a través de la membrana plasmática

Las células no paran de trabajar. Fabrican materiales que deben ser enviados al exterior, y a la vez necesitan que entren materiales, por ejemplo alimentos, y también señales. Estos importantes intercambios tienen lugar en la membrana plasmática.

Que una molécula pueda o no cruzar una membrana plasmática depende de su estructura. Las moléculas hidrófobas pequeñas como el oxígeno y el dióxido de carbono son compatibles con las colas hidrófobas de la doble capa de fosfolípidos, de manera que atraviesan fácilmente las membranas. Las moléculas hidrófilas, como los iones, no pueden atravesar las colas por sí solas, de manera que necesitan ayuda para cruzar al otro lado. Las moléculas grandes (los alimentos y las hormonas) también necesitan ayuda, que viene de la mano de proteínas transportadoras.

Algunas de estas proteínas ayudan a crear unos pasajes en la membrana llamados *canales*. Las moléculas de pequeño tamaño, como las hormonas y los iones, pueden atravesar esas *proteínas de canal*. Además están las *proteínas portadoras*, que cogen moléculas en un lado de la membrana y las sueltan en el otro lado.

Otras proteínas de la membrana actúan como *receptores* que detectan la presencia de moléculas que la célula necesita. Cuando tales moléculas se unen a receptores, la célula permite que atraviesen la membrana plasmática con la ayuda de proteínas de transporte.



Como la membrana plasmática deja pasar algunas sustancias y otras no, se dice que tiene la propiedad de permeabilidad. *Permeable* significa que la mayoría de las sustancias pueden pasar fácilmente. *Impermeable* significa que las sustancias no pueden pasar. *Permeabilidad selectiva* o *semipermeable* significa que tan solo pueden pasar determinadas sustancias.

Los materiales pueden atravesar la membrana plasmática de forma pasiva o activa, como veremos en las siguientes secciones.

Transporte pasivo

El *transporte pasivo* no requiere energía por parte de la célula. Las moléculas pueden atravesar la membrana de dos formas distintas. En ambos casos el transporte se produce siempre desde una zona de mayor concentración de moléculas a una de menor concentración (es decir, se dispersan de manera aleatoria hasta que están uniformemente distribuidas). Los dos métodos de transporte pasivo son:

- ✓ **Difusión.** El movimiento de moléculas de otras sustancias que no sean agua desde una zona de mayor concentración a una de menor concentración se llama *difusión*. Para pasar de una concentración alta a una baja, las moléculas tienen que difundirse (dispersarse) a través de la membrana que separa las zonas de concentración.
- ✓ **Ósmosis.** La difusión del agua a través de una membrana se llama *ósmosis*. La ósmosis es idéntica a la difusión, pero puede dar lugar a cierta confusión porque el movimiento del agua se ve afectado por la concentración de las sustancias que están disueltas en ella (los llamados *solutos*). Básicamente, el agua se mueve de las zonas donde está más concentrada (más pura) a las zonas donde está menos concentrada (donde tiene más solutos).



Para entender mejor el proceso de ósmosis, piensa en los

solutos: el agua se mueve hacia el lugar donde la concentración de solutos es mayor. Por ejemplo, la sangre contiene cierta cantidad de sal. Si la concentración de sal de la sangre aumenta repentinamente, el agua sale de los glóbulos sanguíneos y estos se secan. Por el contrario, si en el torrente sanguíneo hay demasiado líquido, los glóbulos sanguíneos tienen demasiadas moléculas de sal, de modo que absorben agua para rebajar el contenido en sal. Si necesitan absorber demasiada cantidad de agua para restablecer el equilibrio, pueden hincharse y explotar.



Las concentraciones relativas de solutos a los lados de una membrana se comparan mediante la tonicidad de las soluciones. Si una solución es *isotónica*, las concentraciones de sustancias (*solutos*) y de agua (*disolvente*) son iguales en ambos lados de la membrana. Una solución *hipotónica* es aquella cuya concentración de sustancias es menor (y hay más cantidad de agua) que la de la solución con la que se está comparando. Por su parte, una solución *hipertónica* tiene una concentración de sustancias más alta (y menos cantidad de agua) que la solución con la que se está comparando.

Transporte activo

El *transporte activo* requiere cierto gasto de energía por parte de la célula para que las moléculas que no pueden cruzar la doble capa de fosfolípidos por sí solas vayan de una zona donde su concentración es menor a otra donde es mayor. Las proteínas portadoras, llamadas *proteínas de transporte activo* o *bombas*, utilizan la energía almacenada en la célula para concentrar moléculas en su interior o fuera de ella.



El transporte activo viene a ser como comprar un billete para un ferry que cruza un río. El ferry es la proteína portadora y tú eres la molécula grande que necesita ayuda para ir del torrente sanguíneo (el lado del río donde estás) al interior de la célula (el otro lado del río). El dinero que pagas es el

equivalente de las moléculas de energía que gasta la célula.

La difusión en acción en tus pulmones

En el cuerpo humano, uno de los lugares donde tiene lugar el proceso de difusión es en los pulmones. Cuando inspiras, el oxígeno entra en unas pequeñas bolsas de aire de los pulmones, llamadas *alvéolos*. A estos los recorren vasos sanguíneos minúsculos, los *capilares pulmonares*. Los capilares pulmonares contienen la concentración de oxígeno más baja de todo el cuerpo, porque cuando la sangre les llega, la mayor parte del oxígeno ya ha sido gastado por otros órganos y tejidos. Esto significa que los alvéolos tienen una concentración de oxígeno más alta que los capilares pulmonares. El oxígeno de los alvéolos pulmonares se difunde a través de las membranas que hay entre ellos y los capilares, entra en el torrente sanguíneo y desde allí puede circular por todo el cuerpo.

Citoesqueleto: el sostén de las células

Igual que el esqueleto refuerza la estructura del cuerpo, el *citoesqueleto* de una célula refuerza la estructura de esa célula. La diferencia es que ese refuerzo se lleva a cabo mediante filamentos de proteínas, en lugar de huesos. Las proteínas del citoesqueleto refuerzan la membrana plasmática y la membrana nuclear (descrita en el apartado siguiente), y además se extienden por toda la célula como una red de carreteras que ayuda a la circulación de vesículas y orgánulos.



El citoesqueleto es a la vez un bastidor y una red de carreteras, ya que refuerza la célula y hace posible la circulación en el interior de la célula.



Algunas células tienen unas proyecciones filiformes que las ayudan a nadar o a mover líquidos. Si esos apéndices son cortos, como los mostrados en la figura 4-4, se llaman *cilios*. Si son largos, se llaman *flagelos*. Tanto los

cilios como los flagelos contienen proteínas citoesqueléticas. Estas proteínas realizan un movimiento oscilatorio, de forma que los cilios y los flagelos actúan como pequeños látigos. En las vías respiratorias tenemos células que agitan sus cilios y mueven el moco para que se expulse al toser; y también hay células ciliadas en el tubo digestivo, donde ayudan al transporte de los alimentos ingeridos. Los flagelos están presentes en los espermatozoides humanos; son los que les permiten nadar rápidamente hacia el óvulo durante la reproducción sexual.

Núcleo: el director de orquesta

Todas y cada una de las células de un ser vivo contienen material genético, el ADN (abreviatura de *ácido desoxirribonucleico*, como se explica en el capítulo 3). En las células eucariotas, el ADN está contenido en el *núcleo*, una cámara separada del citoplasma por la *membrana nuclear*). En las células que no están multiplicándose, el ADN está enrollado en torno a proteínas y diseminado por el núcleo; en esa forma se denomina *cromatina*. Sin embargo, justo antes de que una célula se divida, la cromatina se enrolla todavía más y se compacta para formar los cromosomas. Las células humanas tienen 46 *cromosomas*, cada uno de los cuales es un trozo distinto de ADN.



El ADN contiene instrucciones para la fabricación de moléculas, en su mayoría proteínas, que hacen el trabajo de la célula. La función de la célula depende de la acción de esas proteínas, y la función del organismo depende de la función de la célula. Por lo tanto, en último término, la función del organismo depende de las instrucciones que hay en el ADN.



Puedes ver el núcleo como la biblioteca de la célula, porque contiene muchísima información. Siguiendo el símil, los cromosomas serían los libros, llenos de instrucciones para fabricar células.

Las proteínas que hay en el núcleo copian las instrucciones del ADN en moléculas que se envían al citoplasma, donde dirigen el comportamiento de la célula. Por ejemplo, en el interior de cada núcleo se encuentra un corpúsculo esférico llamado *nucleolo*.

El nucleolo produce ribosomas, que salen al citoplasma para ayudar en la fabricación de proteínas. En los experimentos en que los científicos trasplantan el núcleo de una célula al citoplasma de otra célula, dicha célula actúa según las instrucciones del núcleo trasplantado. Por lo tanto, el núcleo es el auténtico centro de control de la célula.

Ribosomas: creadores de proteínas

Los *ribosomas* son pequeñas estructuras presentes en el citoplasma de las células. Las instrucciones para la fabricación de proteínas se copian del ADN a una nueva molécula llamada *ARN mensajero* (ARNm). El ARNm sale del núcleo y lleva las instrucciones a los ribosomas. A continuación, los ribosomas organizan el ARNm y otras moléculas que son necesarias para fabricar proteínas (en el capítulo 8 explicamos con detalle el procedimiento de fabricación de las proteínas).



Una buena forma de recordar la función de los ribosomas es verlos como talleres donde se construyen proteínas.

Retículo endoplasmático: una fábrica dentro de la célula

El *retículo endoplasmático* (RE) consiste en una serie de canales que conectan el núcleo con el citoplasma de la célula (*endo* significa 'dentro' y *retículo* hace referencia a la estructura de red del RE, de manera que *retículo endoplasmático* significa 'estructura de red en el citoplasma'). Como puedes ver en la figura 4-4, una parte del RE está cubierta de puntos, que en realidad

son ribosomas adheridos durante la síntesis de ciertas proteínas. Esta parte se llama *retículo endoplasmático rugoso* (RER), mientras que la parte del RE en la que no hay ribosomas se llama *retículo endoplasmático liso* (REL).

Los ribosomas del RER sintetizan proteínas, que o bien se envían al exterior de la célula o bien pasan a formar parte de la membrana (las proteínas que permanecen en la célula se juntan en ribosomas que flotan libremente en el citoplasma). El REL interviene en el metabolismo de los *lípidos* (grasas). Las proteínas y los lípidos sintetizados en el RE se empaquetan en unas pequeñas esferas de la membrana llamadas *vesículas de transporte* que se encargan de transportar las moléculas desde el REL hasta el aparato de Golgi.



Para que no se te olvide la función del RE, puedes verlo como la planta de producción interna de la célula, donde se fabrican proteínas y lípidos.

Aparato de Golgi: centro de distribución de los productos

El *aparato de Golgi*, situado muy cerca del RE (como puedes ver en la figura 4-4), tiene el aspecto de un laberinto con protuberancias en forma de gotas de agua. Esas gotas son vesículas de transporte con material procedente del RE.

Dentro del aparato de Golgi, los productos sintetizados por la célula, por ejemplo hormonas o enzimas, se etiquetan químicamente y se empaquetan para ser exportados a otros orgánulos o al exterior de la célula. Después de procesar las moléculas, el aparato de Golgi las vuelve a empaquetar en una vesícula y las envía fuera de nuevo. Si las moléculas deben salir al exterior de la célula, la vesícula se abre camino hasta la membrana plasmática, donde ciertas proteínas abren un canal a través del cual salen los productos contenidos en la vesícula. Una vez fuera de la célula, los materiales pueden entrar en el torrente sanguíneo y ser transportados por el cuerpo hasta el lugar donde sean necesarios.



Para recordar, quizá te sea útil ver el aparato de Golgi como la oficina de correos de la célula, ya que recibe paquetes moleculares y los etiqueta para enviarlos a su destino.

Lisosomas: los basureros de las células

Los *lisosomas* son unas vesículas especiales formadas por el aparato de Golgi para limpiar la célula. Los lisosomas contienen enzimas digestivas, cuya misión es descomponer los productos que podrían ser perjudiciales para la célula y *escupirlos* al medio extracelular (en el apartado “Enzimas: desencadenantes de reacciones”, más adelante, encontrarás abundante información sobre las enzimas). Los lisosomas también rodean los orgánulos muertos, descomponen sus proteínas y las liberan y así quedan disponibles para construir un orgánulo nuevo.



Básicamente, los lisosomas se encargan de recoger la basura de la célula; reúnen materiales que la célula ya no necesita y los descomponen en partes que pueden reciclarse.

Peroxisomas: destructores de toxinas

Los *peroxisomas* son pequeñas bolsas de enzimas que degradan muchos tipos de moléculas diferentes y ayudan a proteger la célula frente a productos tóxicos. Los peroxisomas ayudan a descomponer los lípidos y ponen su energía a disposición de la célula.

Algunas de las reacciones que ocurren en los peroxisomas producen peróxido de hidrógeno, que es una molécula peligrosa para las células. Para impedir que el peróxido de hidrógeno cause daños a las células, los peroxisomas lo convierten en agua más una molécula de oxígeno, elementos que el cuerpo

siempre necesita y que pueden ser utilizados por cualquier célula.



Los peroxisomas vienen a ser como robots de cocina. Ayudan a descomponer cosas del mismo modo que las cuchillas cortan los alimentos en trozos más pequeños.

Mitocondrias: generadores de energía

Con el fin de proporcionar a las células la energía que necesitan para moverse y crecer, las *mitocondrias* descomponen las moléculas orgánicas procedentes de los nutrientes, extraen su energía y la transfieren a una molécula que la célula puede utilizar de manera inmediata en distintos trabajos biológicos. Esta molécula capaz de almacenar energía se llama *ATP*, forma abreviada de *adenosintrifosfato*.



Para recordar la función de las mitocondrias, piensa que son como las centrales eléctricas de la célula, ya que producen la energía que la célula necesita.



El proceso por el que las mitocondrias transfieren la energía de los nutrientes al ATP se llama *respiración celular*. Lo que ocurre durante la respiración celular se parece a lo que ocurre cuando arde una hoguera, solo que a una escala mucho menor. En el caso de la hoguera se quema la madera, con consumo de oxígeno y transferencia de energía (calor y luz) y materia (dióxido de carbono y agua) al entorno. En el caso de la mitocondria se degradan los nutrientes, con consumo de oxígeno y transferencia de energía a las células (para almacenarla en ATP) y al entorno (en forma de calor). En el capítulo 5 encontrarás más información sobre la respiración celular.

Cloroplastos: convertidores de energía

Los *cloroplastos* son orgánulos que se encuentran exclusivamente en las plantas y en las algas. Están especializados en captar la energía de la luz solar y convertirla en energía química mediante la síntesis de compuestos orgánicos. Generalmente son de un color verde característico porque contienen *clorofila*, un pigmento capaz de absorber la luz del sol. Durante la fotosíntesis, la energía de la luz solar se utiliza en una reacción química en la que se combinan moléculas de dióxido de carbono y moléculas de agua y cuyo resultado es la síntesis de azúcares, de los que nutrirán a todo el organismo (en el capítulo 5 encontrarás más información sobre la fotosíntesis).



Los cloroplastos son el equivalente vegetal de las cocinas solares, ya que utilizan la energía del sol e *ingredientes* del medio (dióxido de carbono y agua) para producir comida.



Mucha gente cree erróneamente que las plantas tienen cloroplastos en lugar de mitocondrias. ¡Lo cierto es que tienen las dos cosas! Piénsalo: ¿de qué les serviría a las plantas producir comida si luego no pudieran descomponerla? Cuando las plantas sintetizan compuestos orgánicos, almacenan materia y energía para el futuro. Cuando necesitan esa materia y energía, las mitocondrias degradan los nutrientes para obtener energía aprovechable.

Enzimas: desencadenantes de reacciones

Siempre que las moléculas de las células experimentan algún cambio, se producen reacciones químicas. Estas reacciones generalmente forman parte de un ciclo o vía compuesta por varias etapas.

Naturalmente, las células tienen un ritmo de vida tan acelerado que no pueden esperar a que las reacciones químicas ocurran por sí solas, sino que se ven obligadas a provocarlas. Por fortuna, tienen a su disposición la herramienta perfecta para ello: unas proteínas llamadas enzimas.



Toda reacción enmarcada en una vía o ciclo requiere que una determinada enzima actúe como *catalizador*, es decir, aumente la velocidad de las reacciones químicas. Estas proteínas están plegadas de la manera adecuada para llevar a cabo un trabajo concreto. Las enzimas también tienen unos anclajes llamados *centros activos*, que utilizan para unirse a ciertas moléculas. La molécula a la que se une una enzima se llama *sustrato* (fíjate en la figura 4-6).

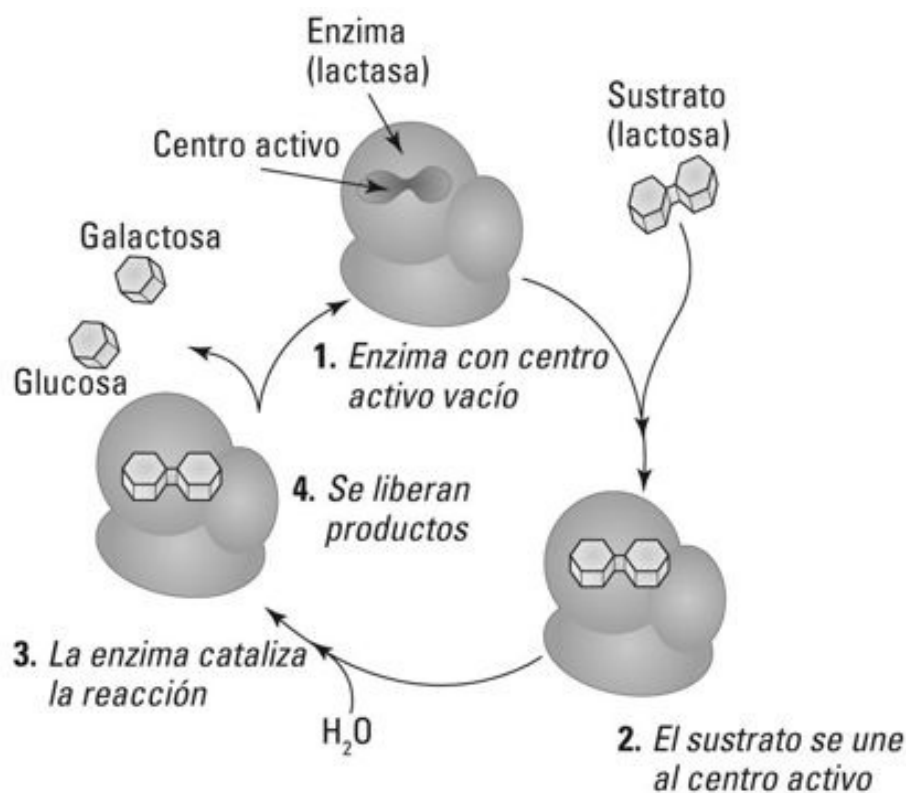


Figura 4-6:
Catálisis enzimática.

Sin la enzima específica que se necesita para catalizar una reacción

determinada, el ciclo o vía en el que interviene esa reacción no puede completarse. El resultado de no haberse completado un ciclo o vía es la ausencia de lo que ese ciclo o vía debería haber producido (un *producto*). Si falta un producto necesario, no puede llevarse a cabo la función, y eso suele dar problemas. Por ejemplo, si una persona no toma suficiente vitamina C, las enzimas necesarias para producir colágeno no pueden actuar, lo que resulta en una enfermedad llamada escorbuto. La falta de colágeno en las personas que padecen escorbuto causa sangrado gingival, pérdida de dientes y un desarrollo óseo anormal en los niños.

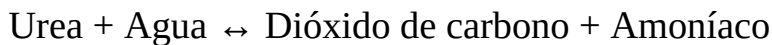
En los apartados siguientes explicamos el modo de funcionamiento de las enzimas, qué necesitan para hacer su trabajo y cómo las células consiguen tenerlas bajo control.

Permanecer igual...



Las propias enzimas se reciclan una y otra vez. Se encuentran en el mismo extremo de la reacción donde estaban al principio, y pueden hacer su trabajo de nuevo. Por ejemplo, la primera reacción enzimática descubierta fue la que descompone la urea en productos que pueden ser excretados fuera del cuerpo. La enzima ureasa cataliza la reacción entre los reactantes urea y agua para obtener dióxido de carbono y amoníaco, productos que el cuerpo puede excretar fácilmente.

Ureasa



En esta reacción, la enzima ureasa ayuda a que los *reactantes* (las moléculas que intervienen en una reacción química), urea y agua, se combinen entre sí. Los enlaces entre los átomos de la urea y el agua se rompen y a continuación vuelven a formarse entre combinaciones de átomos diferentes; así dan lugar a los productos dióxido de carbono y amoníaco. Cuando la reacción ha terminado, la ureasa permanece inalterada y puede catalizar otra reacción entre urea y agua.



Si no sabes qué proteínas son enzimas y cuál es la función de cada una de ellas, aquí tienes una pista útil: los nombres de enzimas terminan en *-asa* y generalmente están relacionados con su función. Por ejemplo, la lipasa es una enzima que ayuda a degradar lípidos (grasas); por su parte, la lactasa es una enzima que ayuda a degradar la lactosa.

... y bajar la energía de activación

Las enzimas actúan reduciendo la cantidad de *energía de activación* necesaria para iniciar una reacción, de forma que las reacciones puedan ocurrir más fácilmente. Por sí solos, los reactantes podrían llegar a chocar el uno con el otro de la manera adecuada para iniciar una reacción. Sin embargo no lo harían con la frecuencia suficiente para mantener la actividad de una célula. Sin enzimas, tu cuerpo no sería capaz de, pongamos por caso, eliminar la urea lo suficientemente rápido, de forma que se acumularía hasta alcanzar niveles tóxicos; y ahí es donde entra en escena la enzima ureasa. Une los reactantes a su centro activo y los coloca juntos de una forma que requiere menos energía para que reaccionen.

Como las reacciones ocurren más fácilmente en presencia de enzimas, también ocurren más a menudo, lo cual incrementa la tasa global de reacción del organismo. Para entender el modo en que las enzimas aceleran las reacciones, piensa en términos de energía. Para que una reacción tenga lugar, los reactantes deben chocar entre sí con suficiente energía como para poner en marcha la reacción. En el ejemplo de la urea y el agua, los reactantes tendrían que chocar de una forma muy concreta para que se produjera un intercambio de átomos y se formaran dióxido de carbono y amoníaco.



No cometas el error de pensar que las enzimas añaden energía a las reacciones para que estas ocurran; no es así. De hecho, no añaden nada en absoluto a una reacción; simplemente ayudan a los reactantes a juntarse de la

manera adecuada quitando la *barrera* que obstaculiza la reacción. Es decir, las enzimas no aportan energía; simplemente actúan para que los reactantes tengan suficiente energía por sí solos.

Los cofactores y las coenzimas ayudan a las enzimas

Las enzimas son proteínas, pero muchas necesitan un compañero no proteico para hacer su trabajo. Estos compañeros inorgánicos se llaman *cofactores*; algunos de ellos son los iones hierro, potasio, magnesio y zinc. Los compañeros orgánicos se llaman *coenzimas*; son moléculas pequeñas que pueden separarse del componente proteico de la enzima y participan directamente en la reacción química. Entre las coenzimas hay muchos derivados de las vitaminas. Una función importante de las coenzimas es que transfieren electrones, átomos o moléculas de una enzima a otra.

La retroinhibición controla las enzimas

Las células gestionan su actividad controlando las enzimas por medio de la *retroinhibición*, un proceso en el que una vía de reacción está activa hasta que el producto final supera cierta concentración crítica. El producto final se une al centro alostérico de una de las enzimas iniciales de la vía, con lo que esta se desactiva. Un *centro alostérico* es, literalmente, un sitio que tiene una forma diferente. Cuando las moléculas se unen a estos centros diferentes, las enzimas pueden desactivarse. Al controlar las enzimas, las células regulan sus reacciones químicas y, en último término, la fisiología de todo el organismo.



La retroinhibición se basa en un mecanismo de retroalimentación. La acumulación del producto final influye en el comienzo de la vía de reacción. Si hay mucha cantidad del producto final, la célula puede detener la reacción.

Al inhibir la actividad de una enzima inicial, toda la vía de reacción se detiene. El proceso de retroinhibición no solo evita que las células malgasten energía sintetizando una cantidad excesiva de productos, sino también que tengan que hacer espacio para almacenar ese exceso de productos. Es como si te impiden gastar dinero en una enorme cantidad de alimentos que luego no podrías comerte y que tendrías que guardar en la despensa hasta que acabaran pudriéndose.



La retroinhibición es reversible, ya que la unión del producto final a la enzima no es permanente. De hecho, el producto final se une, se suelta y se une de manera continua y alterna. Cuando la célula consume sus reservas del producto final, el centro alostérico de la enzima está vacío, con lo que esa enzima se activa de nuevo.

Capítulo 5

Conseguir energía para que funcione el motor

En este capítulo

- ▶ Comprender la importancia que tiene la energía en los organismos
 - ▶ Producir alimento mediante la fotosíntesis
 - ▶ Metabolizar alimentos para obtener energía por medio de la respiración celular
 - ▶ Contar calorías
-

Igual que tienes que echar gasolina en el depósito para que el coche se mueva, tu cuerpo necesita alimentos para poder funcionar. Todos los seres vivos necesitan llenar el depósito con materia y energía y por eso se alimentan. Las moléculas del alimento se utilizan para sintetizar las moléculas que forman las células; una vez incorporadas se degradan y así se libera energía, que permite a las células crecer y mantenerse vivas. Los animales obtienen su alimento de las plantas y de otros animales, mientras que las plantas fabrican su propia comida. En este capítulo hablamos sobre los distintos tipos de energía y cómo se transfieren. También explicamos por qué las células necesitan energía y cómo hacen para obtener energía y materia y almacenarlas.

¿Para qué sirve la energía?

Te des cuenta o no, todos los días gastas energía para cocinar la comida, iluminar la casa y hacer funcionar los electrodomésticos. Sin embargo, si te preguntaran qué es la energía, a lo mejor te verías en un apuro para responder. La mayoría de las personas tienen la idea de que la energía es algo que necesitan para hacer cosas, pero no saben qué es realmente. Lo gracioso es que los físicos, que dedican mucho tiempo a estudiar la energía, la definen de esa forma exactamente: la *energía* es algo que permite realizar un trabajo. Seguro que puedes enumerar varias formas de energía que utilizas en tu vida cotidiana, por ejemplo la electricidad, el calor, la luz y la energía química (como la gasolina). Aunque puedan parecer muy diferentes, todas ellas pertenecen a una de las dos formas básicas:

- ✓ **Energía potencial.** Es la energía que hay almacenada en algo debido a su disposición o estructura. La energía de una pila, el agua contenida por un dique o una goma elástica estirada que está a punto de soltarse son ejemplos de energía potencial. Los alimentos y la gasolina también contienen un tipo de energía potencial llamada *energía potencial química* (energía almacenada en los enlaces moleculares).
- ✓ **Energía cinética.** Es la energía del movimiento. La luz, el calor y los objetos en movimiento contienen energía cinética.

A lo largo de los siguientes apartados te familiarizarás con las reglas aplicables a la energía.

Además, te explicaremos cómo utilizan y transfieren energía las células de los seres vivos y de qué modo la obtienen (una pista: la clave está en los alimentos).

Las reglas de la energía

La energía cumple tres reglas concretas que resulta útil conocer para entender mejor el modo en que la utilizan los organismos:



- ✓ **La energía ni se crea ni se destruye, solo se transforma.** La electricidad generada por una central hidroeléctrica (o por una central térmica de carbón, una turbina eólica o un panel solar) no se crea de la nada. En realidad se transfiere desde otro tipo de energía. Y cuando la gente utiliza la electricidad, por poner un ejemplo, esa energía no desaparece, sino que se transforma en otros tipos de energía, como luz o calor.

Esta ley según el cual la energía no se puede crear ni destruir se conoce como *primer principio de la termodinámica*.

- ✓ **La energía se transfiere al moverse de un lugar a otro.** Para entender esta regla, imagínate un río que sirve como fuente de energía hidroeléctrica. La energía del río que fluye se transfiere primero a una turbina giratoria, luego a los electrones que circulan por cables eléctricos, y finalmente a las bombillas que emiten luz en las viviendas de los abonados.
- ✓ **La energía se transforma al cambiar de una forma a otra.** Volvamos al ejemplo de la central hidroeléctrica. La energía potencial del agua contenida por el dique se transforma primero en la energía cinética del agua en movimiento; luego pasa a ser la energía cinética de una turbina que gira, y, por último, se transforma en la energía cinética de electrones en movimiento.

Metabolizar moléculas

Los organismos cumplen las reglas de la física y la química, y el cuerpo humano no es ninguna excepción. El primer principio de la termodinámica (explicada en el apartado anterior) se aplica también al *metabolismo* de cualquier ser vivo, es decir, a las reacciones químicas que ocurren en las células.

Cuando un organismo metaboliza moléculas, pueden ocurrir dos tipos de reacciones químicas:

- ✓ **Reacciones anabólicas.** Son las que dan lugar a nuevas moléculas. Más concretamente, se combinan moléculas pequeñas y el resultado son otras más grandes con fines de reparación, crecimiento o almacenamiento de energía.
- ✓ **Reacciones catabólicas.** Son las que degradan moléculas y así hacen que se libere la energía almacenada.



Durante las reacciones químicas, los enlaces atómicos cambian y pueden producirse transferencias de energía (en el capítulo 3 encontrarás más información sobre moléculas, átomos y enlaces químicos).



Todas las moléculas que conoces de alimentos (hidratos de carbono, proteínas y grasas) son moléculas grandes que pueden descomponerse en otras más pequeñas.

Los hidratos de carbono complejos, también llamados polisacáridos, se degradan en azúcares simples llamados *monosacáridos*; las proteínas se degradan en *aminoácidos*; y las grasas y aceites se degradan en *glicerol* y *ácidos grasos*. Una vez que las moléculas de los alimentos se han degradado en sus subunidades, a las células les resulta más fácil volver a conectar esas subunidades para sintetizar las moléculas concretas que necesitan.

La transferencia de energía mediante ATP

Para transferir energía entre reacciones anabólicas y catabólicas, las células se sirven de un intermediario energético llamado *adenosintrifosfato* (ATP). La energía obtenida de las reacciones catabólicas se transfiere al ATP y de este pasa a las reacciones anabólicas.

El ATP tiene unidos tres fosfatos (*tri-* significa ‘tres’, de manera que *trifosfato* significa ‘tres fosfatos’). Cuando el ATP suministra energía a un proceso, uno de sus fosfatos se transfiere a otra molécula, con lo que el ATP se transforma

en *adenosindifosfato* (ADP). Las células vuelven a crear ATP añadiendo un grupo fosfato al ADP, para lo cual utilizan energía procedente de reacciones catabólicas. Las células están continuamente sintetizando y degradando ATP; así se produce el ciclo del ATP-ADP representado en la figura 5-1.

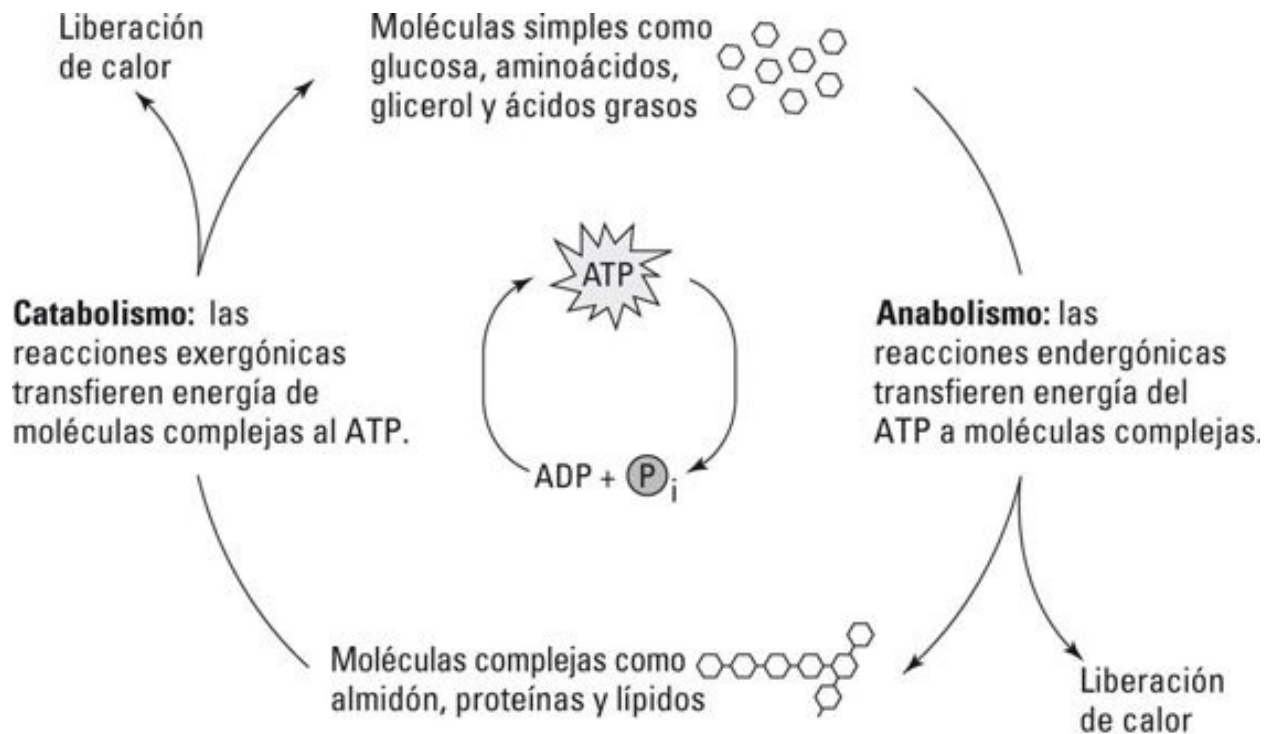


Figura 5-1:
Ciclo del ATP-ADP.

Las células tienen moléculas grandes que contienen energía almacenada, pero cuando están ocupadas con algún trabajo necesitan una fuente de energía fácilmente disponible. Aquí es donde entra en escena el ATP.

Las células tienen ATP a mano para conseguir de él la energía necesaria para el trabajo que estén haciendo.



Para que lo entiendas mejor, el ATP es como el dinero que llevas en el bolsillo. Probablemente tengas tus ahorros en el banco, pero ese dinero no siempre puedes sacarlo fácilmente, de manera que llevas algunas monedas y billetes en el bolsillo por si necesitas comprar algo rápidamente. Cuando te

has gastado todo el dinero suelto, tienes que ir al banco o a un cajero para sacar más. Para los seres vivos, la energía almacenada en moléculas grandes es como el dinero depositado en el banco. Las células degradan el ATP del mismo modo que tú te gastas lo que llevas suelto en el bolsillo. Luego, cuando las células necesitan más ATP, tienen que volver al banco de moléculas grandes y degradar unas pocas más.

Consumir alimentos para obtener materia y energía

Las moléculas de los alimentos (en forma de proteínas, hidratos de carbono y grasas) proporcionan la materia y la energía que todos los seres vivos necesitan para alimentar reacciones anabólicas y catabólicas y crear ATP (en el capítulo 3 encontrarás más información sobre materia y moléculas).

- ✓ **Los organismos necesitan materia para fabricar células y de este modo crecer, repararse y reproducirse.** Imagina que te haces un arañazo en la rodilla y pierdes un trozo de piel. El cuerpo repara los daños fabricando nuevas células cutáneas con las que cubrir el arañazo. Igual que un albañil que está construyendo una casa necesita madera o ladrillos, el cuerpo necesita moléculas para crear nuevas células (en el capítulo 4 encontrarás toda la información sobre las células).
- ✓ **Los organismos necesitan energía para moverse, fabricar nuevos materiales y transportar materiales desde y hacia el interior de las células.** Todas estas actividades son ejemplos de *trabajo celular*, los procesos que consumen energía y tienen lugar en las células. Cuando subes un tramo de escaleras, las células musculares de tus piernas se contraen, y cada una de esas contracciones gasta un poco de energía. Sin embargo, nuestras actividades voluntarias no son lo único que requiere energía. Las propias células también necesitan energía para desempeñar su función.



Los alimentos contienen dos cosas que todos los organismos necesitan: materia y energía.

Encontrar comida o fabricarla uno mismo

Todos los organismos necesitan energía, pero no todos resuelven este problema de la misma manera: algunos organismos, como las plantas, pueden fabricar su propio alimento, mientras que otros, como los seres humanos, tienen que comer otros organismos para nutrirse. Los biólogos han creado dos categorías diferentes para poner de relieve esta diferencia en cuanto al modo en que los seres vivos obtienen energía:

- ✓ **Los organismos autótrofos son capaces de fabricar su propio alimento.** *Auto* significa ‘uno mismo’, y *trofo* significa ‘alimentarse’, de manera que los *autótrofos* son organismos que se alimentan a ellos mismos. Las plantas, las algas y las bacterias fotosintetizadoras son ejemplos de organismos autótrofos.
- ✓ **Los organismos heterótrofos necesitan nutrirse de otros organismos.** *Hetero* significa ‘otros’, de modo que los *heterótrofos* son, literalmente, los que se alimentan de otros. Los animales, los hongos y la mayoría de las bacterias son ejemplos de organismos heterótrofos.

Aunque quizá pienses que conseguir comida es tan fácil como ir al supermercado, pedir un bocadillo en la barra de un bar o abrirle la puerta de tu casa al repartidor, la obtención de nutrientes es en realidad un proceso metabólico.

Más concretamente, los alimentos se sintetizan por medio de un proceso y se descomponen por medio de otro. Estos procesos son los siguientes:

- ✓ **Fotosíntesis.** Solo los organismos autótrofos como las plantas, las algas y algunas bacterias son capaces de realizar la *fotosíntesis*, un proceso consistente en fabricar azúcares a partir de la energía procedente del sol,

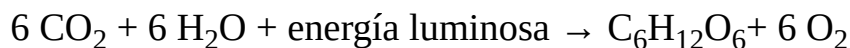
el agua del suelo y el dióxido de carbono que hay en el aire (el dióxido de carbono proporciona la materia que las plantas necesitan para sintetizar alimentos). Cuando extraen los átomos de hidrógeno del agua y lo combinan con el dióxido de carbono, los organismos fotosintetizadores liberan oxígeno como residuo.

- ✓ **Respiración celular.** Tanto los autótrofos como los heterótrofos llevan a cabo la *respiración celular*, un proceso que requiere oxígeno para descomponer las moléculas de los compuestos orgánicos que sirven de alimento, por ejemplo azúcares. La energía almacenada en los enlaces de las moléculas de dichos compuestos se convierte en ATP. Cuando la energía se transfiere a las células, la materia procedente de las moléculas de los alimentos se libera en forma de dióxido de carbono y agua.

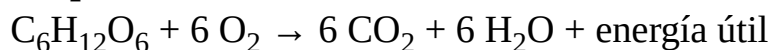


La fotosíntesis y la respiración celular son procesos opuestos. La fotosíntesis consume dióxido de carbono y agua, y produce compuestos orgánicos y oxígeno. La respiración celular consume compuestos orgánicos y oxígeno, y produce dióxido de carbono y agua. Los científicos describen, a grandes rasgos, estos dos procesos por medio de las siguientes ecuaciones:

Fotosíntesis:



Respiración celular:



No cometas el error de pensar que únicamente los heterótrofos, por ejemplo los animales, llevan a cabo la respiración celular. Los autótrofos, como las plantas, también utilizan este proceso. Piénsalo de la siguiente manera:

la fotosíntesis es una forma de fabricar alimento por medio de la cual los autótrofos almacenan materia y energía para su uso posterior. Cuando necesita esa materia y esa energía, utiliza la respiración celular para sacar la comida de

los almacenes donde la ha guardado.

Fotosíntesis: elaboración de alimento a partir de luz solar, dióxido de carbono y agua

Los autótrofos, como las plantas, combinan materia y energía para producir alimento en forma de azúcares. Con estos azúcares, más un poco de nitrógeno y minerales que están disueltos en el agua que captan del suelo, los autótrofos pueden sintetizar todas las moléculas que necesitan para fabricar sus células. La fórmula química de la glucosa, el tipo de azúcar más habitual de las células, es $C_6H_{12}O_6$. Para fabricar glucosa, los organismos autótrofos necesitan átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno, además de energía para combinarlos.

- ✓ El carbono y el oxígeno provienen del dióxido de carbono presente en la atmósfera terrestre.
- ✓ El hidrógeno se toma del agua que hay en el suelo.
- ✓ La energía procede del sol (pero solo en el caso de los autótrofos que llevan a cabo la fotosíntesis).



Mucha gente cree erróneamente que las plantas obtienen del suelo toda la materia que necesitan para crecer. Esto parece perfectamente lógico teniendo en cuenta que las plantas crecen con las raíces hundidas en la tierra. Sin embargo, una serie de observaciones científicas realizadas de manera muy meticulosa por un científico belga llamado Jean Baptiste van Helmont demostraron que un árbol cuya masa aumentó 76,6 kg al crecer tomó tan solo 57 g de materia seca del suelo (sin contar el agua). Este experimento demostró que las plantas no sacan su material del suelo. En realidad, la mayor parte de la materia que necesitan para crecer la obtienen del dióxido de carbono que hay en el aire. Esta idea quizá resulte más difícil de creer porque el aire, incluido el dióxido de carbono, no parece algo muy sustancioso que digamos,

pero los científicos han comprobado que es correcta. Las plantas recogen gran cantidad de moléculas de dióxido de carbono (CO_2) y las combinan con moléculas de agua (H_2O) para sintetizar azúcares como la glucosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$). El agua que necesitan, más pequeñas cantidades de minerales, como el nitrógeno, la toman del suelo.



La fotosíntesis tiene lugar en dos fases (la figura 5-2 muestra ambas en acción):

- ✓ **Las reacciones fotosintéticas de la fase luminosa transforman la energía luminosa en energía química.** La energía química se almacena en el ATP.
- ✓ **Las reacciones de la fase oscura son independientes de la luz y producen alimento.** El ATP resultante de las reacciones lumínicas suministra la energía necesaria para combinar dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O) con el fin de sintetizar glucosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$).

En los siguientes apartados analizamos más a fondo el proceso de la fotosíntesis.

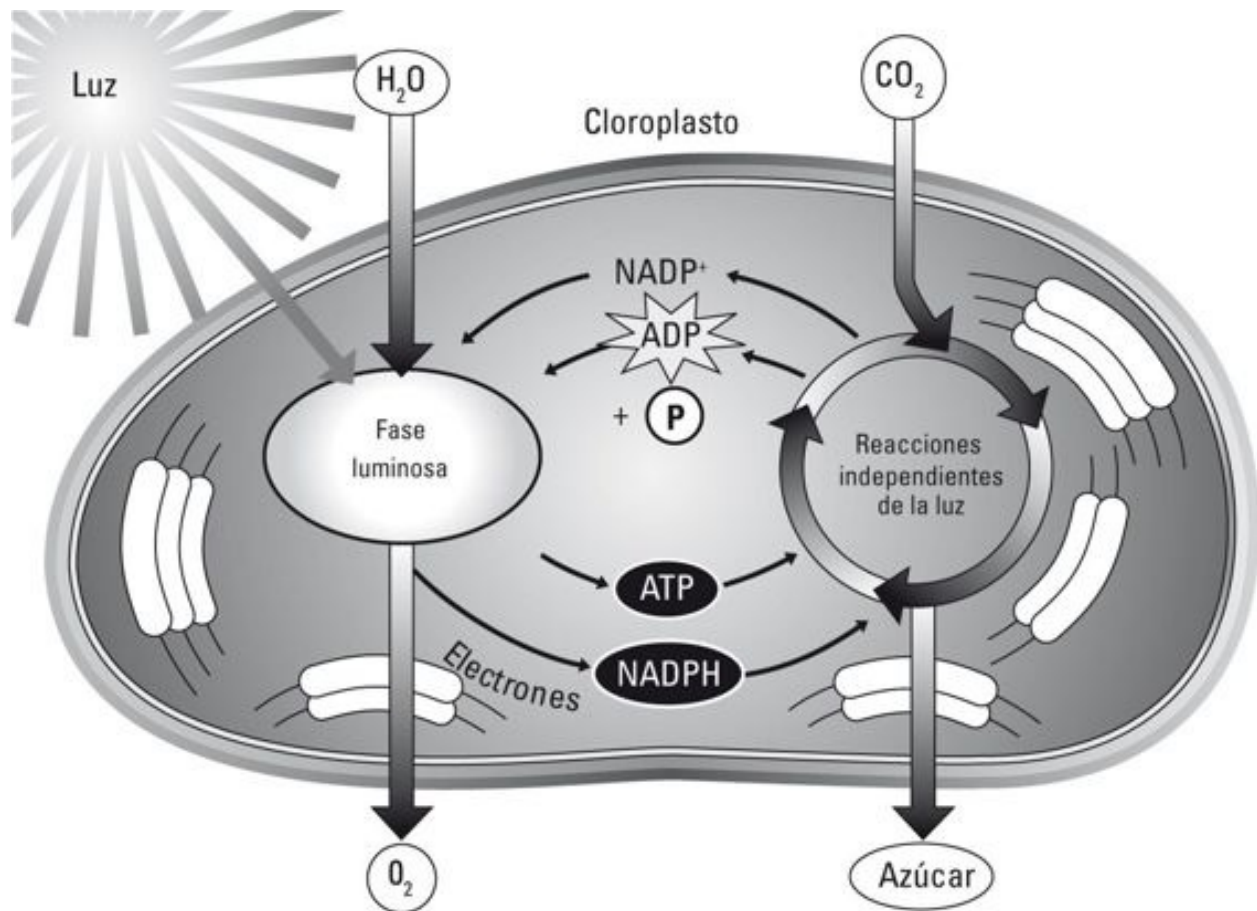


Figura 5-2:

Las dos fases de la fotosíntesis. Las reacciones que requieren luz y las que son independientes de ella están separadas pero relacionadas entre sí.

Obtener energía de la fuente definitiva

El sol es una fuente de energía perfecta, un reactor nuclear situado a una distancia segura del planeta Tierra. Contiene toda la energía que puedas necesitar el resto de tu vida... si sabes cómo capturarla. Las bacterias verdes descubrieron la forma de hacerlo hace más de 2.500 millones de años.

Las plantas, las algas y las bacterias verdes utilizan pigmentos para absorber la energía luminosa del sol. Probablemente hayas oído hablar de la *clorofila*, el pigmento que da su color verde a las hojas de las plantas. Los cloroplastos presentes en las células vegetales contienen gran cantidad de clorofila en las membranas, de modo que pueden absorber energía luminosa (en el capítulo 4 encontrarás más información sobre los cloroplastos).

Durante las reacciones de la fase luminosa de la fotosíntesis, los cloroplastos absorben energía luminosa del sol y la transforman en la energía química almacenada en el ATP.

Cuando la energía lumínica es absorbida, las moléculas de agua se disocian. Los electrones de las moléculas de agua ayudan a transformar la energía luminosa en energía química. El oxígeno de las moléculas de agua se libera como residuo, de manera que las plantas producen el oxígeno (O₂) que respiramos.

La unión de materia y energía

Utilizando la energía del ATP (un producto de las reacciones de la fase luminosa), las plantas combinan moléculas de dióxido de carbono y moléculas de agua para fabricar glucosa durante las reacciones independientes de la luz. Para la síntesis de glucosa, primero las plantas toman dióxido de carbono del aire por medio de un proceso llamado *fijación del carbono* (coger dióxido de carbono y fijarlo a una molécula en el interior de la célula). Luego utilizan la energía del ATP y los electrones procedentes del agua para convertir el dióxido de carbono en azúcar.



Las reacciones independientes de la luz forman un ciclo metabólico que se llama ciclo de Calvin-Benson (los nombres de los científicos que lo descubrieron).



Como su propio nombre indica, las reacciones fotosintéticas independientes de la luz no necesitan la luz solar directa. Sin embargo, las plantas necesitan los productos de las reacciones de la fase luminosa para llevar a cabo las de la fase oscura, de manera que, en realidad, las segundas no pueden ocurrir sin las primeras.

Si las plantas han fabricado más glucosa de la que necesitan, almacenan el exceso de materia y energía combinando moléculas de glucosa para formar

moléculas de hidratos de carbono más grandes, por ejemplo almidón. Cuando es necesario, las plantas descomponen las moléculas de almidón y recuperan la glucosa para obtener energía o para sintetizar otros compuestos, por ejemplo proteínas y ácidos nucleicos (muchas plantas, como las aceitunas, el maíz, los cacahuetes y los aguacates, almacenan la materia y la energía en aceites).

La respiración celular: para la descomposición de la materia orgánica y la obtención de energía mediante el oxígeno

Tanto los organismos autótrofos como los heterótrofos descomponen la materia orgánica y transfieren su energía al ATP mediante la respiración celular. Las células de los animales, las plantas y muchas bacterias utilizan el oxígeno para ayudar en la transferencia de energía durante la respiración celular. El tipo de respiración celular que se da en estas células se llama respiración aeróbica (*aeróbico* significa ‘con aire’).



El proceso de la respiración celular consta de tres rutas metabólicas distintas (en la figura 5-3 puedes verlas todas en acción). Las dos primeras rutas metabólicas, la glucólisis y el ciclo de Krebs, degradan las moléculas del alimento. La tercera ruta metabólica, llamada fosforilación oxidativa, convierte en ATP la energía contenida en las moléculas del alimento. La respiración celular funciona de la manera siguiente:

- ✓ Durante la *glucólisis*, que tiene lugar en el citoplasma, las células descomponen la glucosa en *piruvato*, un compuesto de tres carbonos. Después de la glucólisis, el piruvato se descompone en una molécula de dos carbonos llamada acetil-coenzima A (CoA).
- ✓ Después de que el piruvato se haya convertido en acetil-CoA, se desarrolla el *ciclo de Krebs* en la matriz de las mitocondrias, lo cual

acelera la conversión de acetil-CoA en dióxido de carbono.

- ✓ Durante la *fosforilación oxidativa*, que tiene lugar en la membrana interna de la mitocondria (*crestas mitocondriales*), las células producen ATP con la energía que resulta de la degradación del alimento.

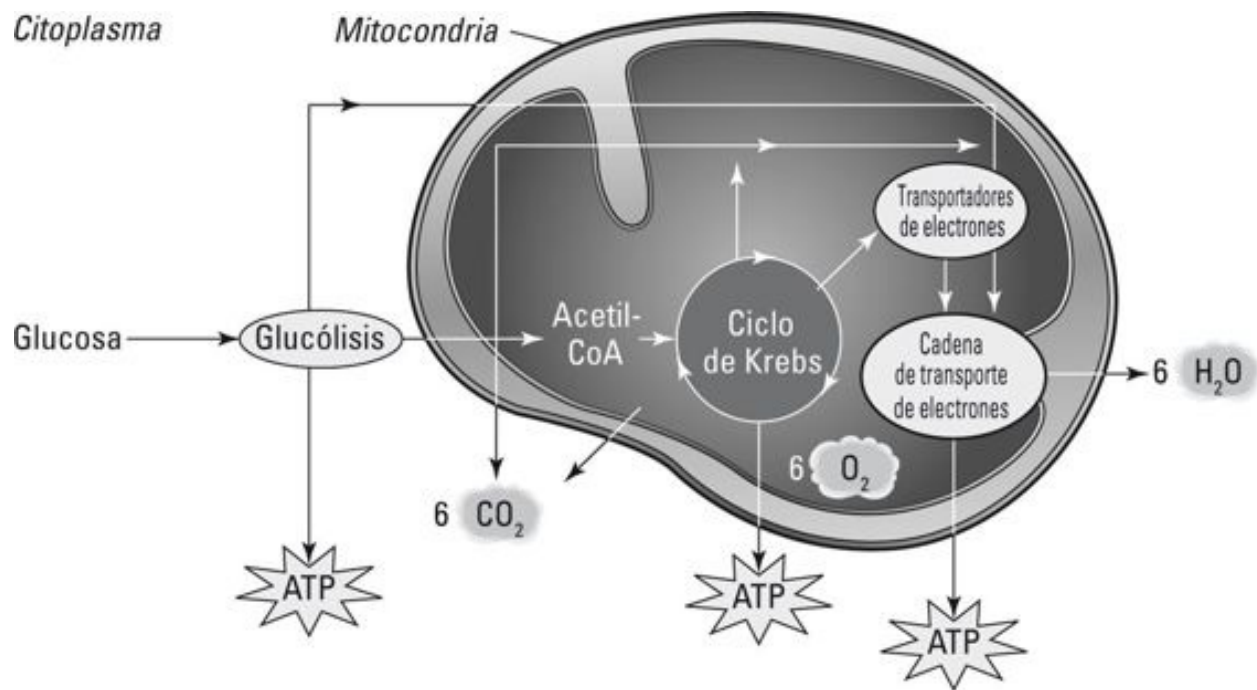


Figura 5-3:
Representación esquemática de la respiración celular.

En los siguientes apartados analizamos con más detalle la respiración celular.



La respiración celular no tiene nada que ver con la respiración pulmonar. La *respiración pulmonar* es el acto físico de llenar de aire los pulmones y luego vaciarlos. La *respiración celular* es lo que ocurre en el interior de las células cuando utilizan oxígeno para producir ATP a partir de la energía contenida en las moléculas de alimento.

La degradación de los alimentos

Después de que las moléculas de los alimentos se hayan degradado en

unidades más pequeñas, pueden degradarse todavía más para transferir su energía al ATP. Durante la respiración celular, las enzimas reorganizan lentamente los átomos que componen las moléculas de los alimentos. Cada reorganización produce una nueva molécula en la ruta metabólica y también puede dar lugar a otras moléculas útiles para la célula. Dichas reacciones tienen consecuencias distintas:

- ✓ **Liberan energía que puede convertirse en ATP.** Las células utilizan rápidamente este ATP para trabajos celulares, por ejemplo sintetizar nuevas moléculas.
- ✓ **Oxidan las moléculas de los alimentos y transfieren electrones y energía a coenzimas.** La *oxidación* es el proceso por el que las moléculas pierden electrones, mientras que la *reducción* es el proceso consistente en ganarlos. Durante la respiración celular, las enzimas quitan electrones de las moléculas de los alimentos y luego los transfieren a las coenzimas nicotinamida adenina dinucleótido (al que normalmente se llama solo NAD^+) y flavina adenina dinucleótido (FAD). El NAD^+ y el FAD reciben los electrones como parte de átomos de hidrógeno (H) y cambian a sus formas reducidas NADH y FADH_2 . Seguidamente, el NADH y el FADH_2 donan los electrones al proceso de fosforilación oxidativa, que utiliza la energía para generar ATP.



El NAD^+ y el FAD vienen a ser como un servicio de autobuses lanzadera para la célula. Los autobuses vacíos, NAD^+ y FAD, van a una reacción de oxidación y allí recogen pasajeros (electrones). Cuando los electrones se suben al autobús, el conductor pone la señal H para indicar que el vehículo está lleno. A continuación los autobuses llenos, NADH y FADH_2 , se dirigen a reacciones que necesitan electrones y dejan que los pasajeros se apeen del vehículo. Ahora los autobuses están otra vez vacíos, así que regresan a otra reacción de oxidación para recoger más pasajeros. Durante la respiración celular, los autobuses lanzadera recorren un trayecto que va desde las reacciones de glucólisis y el ciclo

de Krebs (donde recogen pasajeros) hasta la cadena de transporte de electrones (donde dejan los pasajeros).

- ✓ **Liberan dióxido de carbono (CO₂).** Las células devuelven CO₂ al medio ambiente en forma de residuo, lo cual viene de maravilla a los autótrofos que necesitan CO₂ para fabricar el alimento que luego se comerán los heterótrofos; ¿ves como todo está relacionado?

En cada punto de la ruta metabólica de la respiración celular intervienen distintos tipos de moléculas. En la primera etapa (la glucólisis), las células degradan azúcares simples como la glucosa. En la segunda etapa (el ciclo de Krebs), las células descomponen los ácidos grasos y los aminoácidos.

A continuación te ofrecemos un resumen de cómo es la descomposición de diferentes moléculas en las dos primeras etapas de la respiración celular:

- ✓ Durante la glucólisis, la glucosa se descompone en dos moléculas de piruvato. La glucosa tiene seis átomos de carbono, mientras que el piruvato tiene tres. Durante la glucólisis, las transferencias de energía dan lugar a una ganancia neta de dos ATP y dos moléculas de la forma reducida de la coenzima NADH.
- ✓ El piruvato se convierte en acetil-CoA, que está formado por dos átomos de carbono. Un átomo de carbono del piruvato sale de la célula en forma de CO₂. Por cada molécula de glucosa que se degrada mediante la glucólisis y el ciclo de Krebs, seis moléculas de CO₂ salen de la célula como residuo (la conversión de piruvato en acetil-CoA produce dos moléculas de dióxido de carbono, y el ciclo de Krebs produce cuatro).
- ✓ Durante el ciclo de Krebs, el acetil-CoA se degrada para producir dióxido de carbono (CO₂). La conversión de piruvato en acetil-CoA genera dos moléculas de NADH. Las transferencias de energía durante el ciclo de Krebs producen seis moléculas más de NADH, dos moléculas de FADH₂ y dos moléculas de ATP.

Transferencia de energía al ATP

En las membranas internas de las mitocondrias, cientos de minimáquinas celulares están trabajando sin descanso para transferir al ATP la energía contenida en el alimento. Estas máquinas celulares se llaman *cadena de transporte de electrones* y están compuestas por un equipo de proteínas que se encargan de transferir energía y electrones.



Las coenzimas NADH y FADH₂ conducen a la cadena de transporte de electrones la energía y los electrones que resultan de la glucólisis y el ciclo de Krebs. Las coenzimas transfieren los electrones a las proteínas de la cadena de transporte de electrones. Cuando llegan al final de la cadena, los electrones se combinan con oxígeno (si al final de la cadena no hubiera oxígeno para captar los electrones, la transferencia de energía no podría ocurrir). Cuando el oxígeno acepta los electrones, también capta protones (H⁺) y se convierte en agua (H₂O).



Las proteínas de la cadena de transporte de electrones son como una cadena humana que se forma para apagar un incendio, donde cada persona vacía el agua de su cubo en el cubo de la persona siguiente. Los cubos son las proteínas (portadores de electrones) y el agua de su interior representa los electrones. Los electrones pasan de una proteína a otra hasta llegar al final de la cadena.

Mientras los electrones avanzan por la cadena de transporte, las proteínas utilizan energía para forzar el paso de protones (H⁺) a través de las membranas de las mitocondrias. Los protones se acumulan como si fueran agua tras el dique de las membranas internas. Luego estos protones vuelven a atravesar las membranas mitocondriales en sentido contrario a través de una proteína llamada *ATP-sintasa*; esta transforma la energía cinética de los protones en la energía química del ATP, para lo cual captura la energía de los enlaces químicos al añadir moléculas de fosfato al ADP.

El proceso entero de síntesis de ATP en la cadena de transporte de electrones

se llama *fosforilación oxidativa*, que se ilustra en la figura 5-4 y que se formula en la *teoría quimiosmótica*.



Al final del proceso de respiración celular, la energía transferida tras la degradación de la glucosa se almacena en 36-38 moléculas de ATP que pasan a estar disponibles para el trabajo celular (¡y no veas lo rápido que se gastan!).

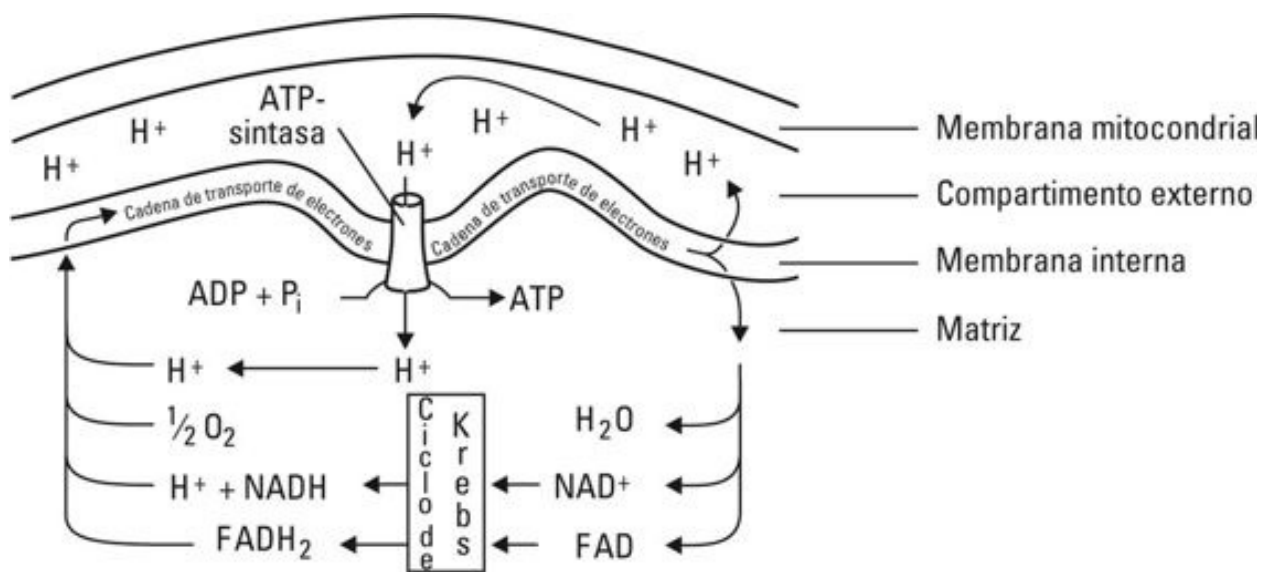


Figura 5-4:

Lo que ocurre en el interior de las mitocondrias según la teoría quimiosmótica.

Energía y cuerpo

Cuando ingieres alimentos, tu cuerpo absorbe energía potencial química que luego se transfiere a las células. Al realizar cualquier trabajo, esa energía acaba transformándose en energía calorífica que emites a tu entorno.

La energía puede medirse de distintas formas, pero la de los alimentos se mide en calorías. La *caloría* es una unidad de medida de la energía calorífica; concretamente, una caloría es la cantidad de calor necesaria para elevar un grado centígrado la temperatura de un litro de agua. Las calorías que cuentas y

que ves impresas en los envases alimentarios son en realidad *kilocalorías* (*kilo* significa ‘mil’, de manera que una *kilocaloría* es igual a 1.000 calorías). A veces las kilocalorías se representan con una C mayúscula, mientras que para las calorías se utiliza una c minúscula, pero eso es un error porque el símbolo internacional de las calorías es cal, y el de las kilocalorías se forma añadiendo una k como en cualquier otra unidad, y es kcal.

Puedes conocer de manera aproximada la energía que necesitas en un día haciendo un sencillo cálculo para determinar tu *metabolismo basal* (MB), la cantidad de calorías que necesitas para mantener las funciones vitales (respiración, circulación sanguínea, digestión, etc.). Para calcular el MB, resuelve la siguiente ecuación:

1. **MB hombres** = $66,47 + (13,75 \times P) + (5 \times A) - (6,76 \times E)$

2. **MB mujeres** = $655,09 + (9,56 \times P) + (1,84 \times A) - (4,67 \times E)$

3. **Donde:**

P = peso en kg

A = altura en cm

E = edad en años

Si realizas actividad física, tendrás que consumir algunas kilocalorías más para que tu cuerpo disponga de suficiente energía. A partir del cálculo anterior, la tabla 5-1 te permitirá saber cuántas kilocalorías debes ingerir para mantener tu estilo de vida.

Antiguamente los seres humanos tenían que esforzarse mucho para conseguir alimento y a veces se quedaban con las manos vacías. Para sobrevivir, el cuerpo humano desarrolló un mecanismo de almacenamiento de energía al que puede recurrir en épocas de escasez de alimentos. Se trata de almacenar grasa en las caderas, el abdomen y las nalgas. De este modo, si al cabo del día has ingerido más calorías de las que necesitas, el sobrante se almacena en forma de grasa en el tejido adiposo. Por cada 3.850 kcal de más, el cuerpo almacena 500 g de grasa, ¡y no está dispuesto a renunciar a semejante reserva de energía! Si continúas ingiriendo más energía de la que consumes, seguirás ganando peso, porque al cuerpo le resulta mucho más fácil crear grasa que gastarla.

Tabla 5-1: Determinación del requerimiento calórico en función del estilo de vida

<i>Si eres...</i>	<i>Multiplica tu MB por...</i>
Bastante sedentario (no haces deporte, o muy poco, y tienes un trabajo de oficina)	1,2
Un poco activo (haces ejercicio ligero entre uno y tres días por semana)	1,375
Moderadamente activo (haces ejercicio moderado entre tres y cinco días por semana)	1,55
Muy activo (haces ejercicio intenso entre seis y siete días por semana)	1,725
Extremadamente activo (haces ejercicio intenso todos los días y tienes un trabajo físico)	1,9

Parte II

Reproducción celular y genética: hablemos de sexo

The 5th Wave

Rich Tennant



—Puedes hacer todas las pruebas de ADN que quieras,
Pinocho, pero estoy segura de que el hijo es tuyo.

En esta parte...

Los seres vivos crecen y se reproducen por vía sexual (a través de la meiosis) y por vía asexual (a través de la mitosis). Además, suelen transmitir sus rasgos a los descendientes.

La información de esos rasgos está codificada en la estructura de la que se ha dado en llamar molécula de la vida: el ácido desoxirribonucleico o ADN. Los científicos conocen hoy mejor que nunca los misterios del ADN. Incluso han ideado formas de sacarle partido en aplicaciones médicas, agrícolas y tecnológicas.

En esta parte explicamos los pasos de la división celular y el papel del ADN en las características de los organismos.

Capítulo 6

Divide y vencerás: la división celular

En este capítulo

- ▶ Entender por qué las células se reproducen y de qué forma se duplica el ADN
 - ▶ Descubrir cómo la mitosis produce copias exactas de células
 - ▶ Fabricar óvulos y espermatozoides mediante la meiosis
 - ▶ Saber apreciar el valor de la diversidad genética
-

Todos los seres vivos son capaces de duplicar sus células para crecer, repararse y reproducirse. La reproducción asexual por mitosis crea células que son genéticamente idénticas a la célula madre. La reproducción sexual requiere un tipo especial de división celular llamado meiosis que produce células que contienen la mitad de la información genética de la célula madre. La meiosis y la reproducción sexual dan lugar a una mayor diversidad genética en la descendencia y, por tanto, en las poblaciones de seres vivos. En este capítulo explicamos los motivos por los que las células se dividen y mostramos los pasos de cada tipo de división celular. Asimismo, te contamos el modo en que la reproducción sexual añade variedad a las especies.

Reproducción: luchar por seguir adelante

La biología es, naturalmente, la ciencia que estudia los seres vivos. Y si te paras a pensarlo, la vida consiste en luchar por seguir adelante: los seres vivos se perpetúan en la siguiente generación transmitiendo información genética de gran valor. Sin duda, esta es una de las grandes diferencias entre los organismos y los objetos inanimados. Al fin y al cabo, ¿has visto alguna vez que una mesa o una silla se reproduzca? Únicamente los seres vivos tienen la capacidad de transmitir información genética y generar copias de sí mismos. Cuando las células se multiplican, hacen copias de todas sus partes, incluido el ADN, y luego se dividen dando lugar así a nuevas células. Si una célula hace una copia exacta de sí misma, es que tiene *reproducción asexual*. Los organismos procariotas unicelulares, por ejemplo las bacterias, se reproducen por vía asexual mediante bipartición; son capaces de dividirse rápidamente y copiarse a sí mismas en un lapso de entre 10 y 20 minutos. Algunos organismos eucariotas unicelulares, así como células individuales de organismos eucariotas pluricelulares, también se reproducen por vía asexual. Sin embargo, lo hacen mediante un proceso llamado mitosis (explicado más adelante en el apartado “Mitosis: esto para ti y esto para ti”) y así surgen nuevas generaciones. Si una célula produce una nueva célula que contiene tan solo la mitad de su información genética, es que ha utilizado la *reproducción sexual*, cuya base es un tipo especial de división celular llamado meiosis (explicado más adelante en el apartado “Meiosis: todo por el sexo”).



Que las células se dividan sirve para varias cosas:

- ✓ **Para crecer.** Tú empezaste como una única célula después de que un óvulo de tu mamá se juntara con un espermatozoide de tu papá, pero ahora en tu cuerpo hay alrededor de 10 billones de células. Todas esas células se crearon a partir de aquella célula primera y de sus descendientes por medio de la mitosis. Cuando ves crecer una planta o cómo un cachorro de animal va convirtiéndose en adulto, estás viendo la mitosis en acción.
- ✓ **Para repararse.** A lo largo de su vida, las células se desgastan y tienen

que ser sustituidas. Por ejemplo, las células de la superficie de la piel se renuevan constantemente. Si el cuerpo no pudiera sustituir esas células, te quedarías sin piel. Y si un organismo sufre algún tipo de lesión o herida, el cuerpo utiliza la mitosis para producir las células necesarias para repararla.

- ✓ **Para perpetuar la especie.** Durante la reproducción asexual, los organismos elaboran copias exactas de sí mismos y así dan lugar a descendencia. Durante la reproducción sexual, los *gametos* (los óvulos y los espermatozoides, que contienen la mitad de la información genética de sus células progenitoras) se juntan y dan lugar a nuevos individuos. Cuando la información genética de los gametos se junta, el nuevo ser tiene la cantidad total de ADN que tienen todos los individuos de su especie.

Multiplicación del ADN

Si una célula va a dividirse debe copiar todas sus partes antes de escindirse. La célula crece, crea más orgánulos (en el capítulo 4 encontrarás abundante información sobre los orgánulos) y copia su información genética (el ADN) para que cada una de las nuevas células tenga una copia de todo lo que necesita. Las células utilizan un proceso llamado *multiplicación del ADN* para copiar su material genético. En este proceso, las cadenas de ADN originales sirven como plantilla para la construcción de las nuevas cadenas. Es muy importante que cada una de las nuevas células reciba una copia exacta de la información genética, ya que esa copia, sea exacta o inexacta, determina la estructura y la función de las nuevas células.



Los principales pasos de la multiplicación del ADN son los siguientes:

- ✓ En primer lugar, las dos cadenas de ADN progenitoras se separan, de forma que los peldaños de la escalera de doble hélice se parten y queda

un nucleótido en cada lado (en el capítulo 3 puedes ver una representación de una molécula de ADN). Sin embargo, la cadena de ADN completa no se separa toda de una vez, sino que van separándose las dos cadenas progresivamente, como si fuera una cremallera. La zona parcialmente abierta/parcialmente cerrada donde se está llevando a cabo la multiplicación es lo que se llama *horquilla de replicación* (la zona en forma de Y que puedes ver en la figura 6-1).

- ✓ La enzima ADN polimerasa lee el código del ADN en las cadenas progenitoras y construye nuevas cadenas complementarias de las cadenas originales. Al construir cadenas complementarias, la ADN polimerasa cumple las *reglas de emparejamiento de bases* de los nucleótidos del ADN: la adenina (A) se empareja siempre con la timina (T), y la citosina (C) se empareja siempre con la guanina (G) (en el capítulo 3 encontrarás más información sobre los nucleótidos). Por ejemplo, si la cadena progenitora tiene una A en una determinada ubicación, la ADN polimerasa pone una T en la nueva cadena de ADN complementario que está creando. Cuando la ADN polimerasa ha terminado de crear pares complementarios, cada cadena progenitora tiene una nueva cadena complementaria.



La ADN polimerasa se considera *semiconservadora* porque cada nueva molécula de ADN es mitad antigua (la cadena progenitora) y mitad nueva (la cadena complementaria).

En el proceso de multiplicación del ADN, varias enzimas ayudan a la ADN polimerasa (la figura 6-1 muestra esas enzimas y la ADN polimerasa en plena acción):

- ✓ **La helicasa** separa las cadenas progenitoras originales para abrir el ADN como una cremallera.
- ✓ **La primasa** añade fragmentos cortos de ARN, llamados *cebadores*, que son complementarios al ADN progenitor. La ADN polimerasa necesita estos cebadores para empezar a copiar el ADN.

- ✓ **La ADN polimerasa I** retira los cebadores de ARN y los sustituye por ADN, de manera que su función es ligeramente distinta a la que tiene la ADN polimerasa, que se encarga de sintetizar la mayor parte del nuevo ADN (el nombre oficial de esa enzima es ADN polimerasa III, pero nosotros la llamaremos simplemente ADN polimerasa).
- ✓ **La ADN ligasa** forma enlaces covalentes en la estructura de las nuevas moléculas de ADN para sellar las pequeñas roturas originadas al comenzar y detenerse la multiplicación de nuevas cadenas.

Las cadenas progenitoras de la doble hélice tienen polaridad opuesta, lo que significa que los extremos de cada cadena de ADN son diferentes entre sí, y las dos cadenas de la doble hélice están invertidas una con respecto a la otra. Fíjate en los números 5' y 3' (se lee “cinco prima” y “tres prima”) en la figura 6-1. Estos números indican las diferencias químicas entre ambos extremos. Como puedes ver, el extremo 5' de una cadena se alinea con el extremo 3' de la otra cadena. Las dos cadenas de ADN deben estar enroscadas en direcciones opuestas para que las bases que componen los peldaños de la escalera encajen de una manera que permita la formación de enlaces de hidrógeno entre ellas. Como las dos cadenas tienen polaridad opuesta, se dice que son *cadenas antiparalelas*.



Las cadenas antiparalelas del ADN progenitor plantean algunos problemas a la ADN polimerasa. Una característica de la ADN polimerasa es que se trata de una enzima unidireccional, es decir, únicamente puede formar nuevas cadenas de ADN alineando los nucleótidos de una determinada manera. Sin embargo, la ADN polimerasa necesita utilizar como molde las cadenas de ADN progenitoras, y resulta que dichas cadenas siguen direcciones opuestas. Por lo tanto, la ADN polimerasa sintetiza las nuevas cadenas de ADN de manera ligeramente distinta, como se desprende de lo siguiente:

- ✓ **Una de las nuevas cadenas de ADN, la cadena conductora o cadena continua, se sintetiza de modo continuo.** Fíjate en la figura 6-1. ¿Ves

que el ADN nuevo del lado izquierdo de la horquilla de replicación está creciendo de forma continua? El extremo 3' de esta nueva cadena está orientado hacia la horquilla de replicación, de modo que, una vez la ADN polimerasa ha comenzado a sintetizar la nueva cadena, este extremo simplemente continúa avanzando.

- ✓ **La otra cadena nueva de ADN, la cadena retrasada o cadena discontinua, se va multiplicando por fragmentos.** Vuelve a mirar la figura 6-1. ¿Ves que el lado derecho de la horquilla de replicación parece un poco más embarullado? La razón es que allí el proceso de multiplicación no tiene lugar de forma continua. El extremo 3' de esta nueva cadena apunta en sentido contrario a la horquilla. La ADN polimerasa empieza a sintetizar un fragmento de esta nueva cadena pero tiene que alejarse de la horquilla para hacerlo (porque solo puede avanzar en una dirección). Sin embargo, la ADN polimerasa no puede alejarse demasiado del resto de las enzimas que están actuando en la horquilla, de manera que se ve obligada a regresar y comenzar de nuevo una y otra vez. Como resultado, la cadena retrasada se sintetiza como una serie de tramos cortos llamados *fragmentos de Okazaki*. Cuando la ADN polimerasa termina de sintetizar fragmentos, llega la enzima ADN ligasa y empieza a formar enlaces covalentes entre todos los trozos para obtener una nueva cadena continua de ADN complementario.

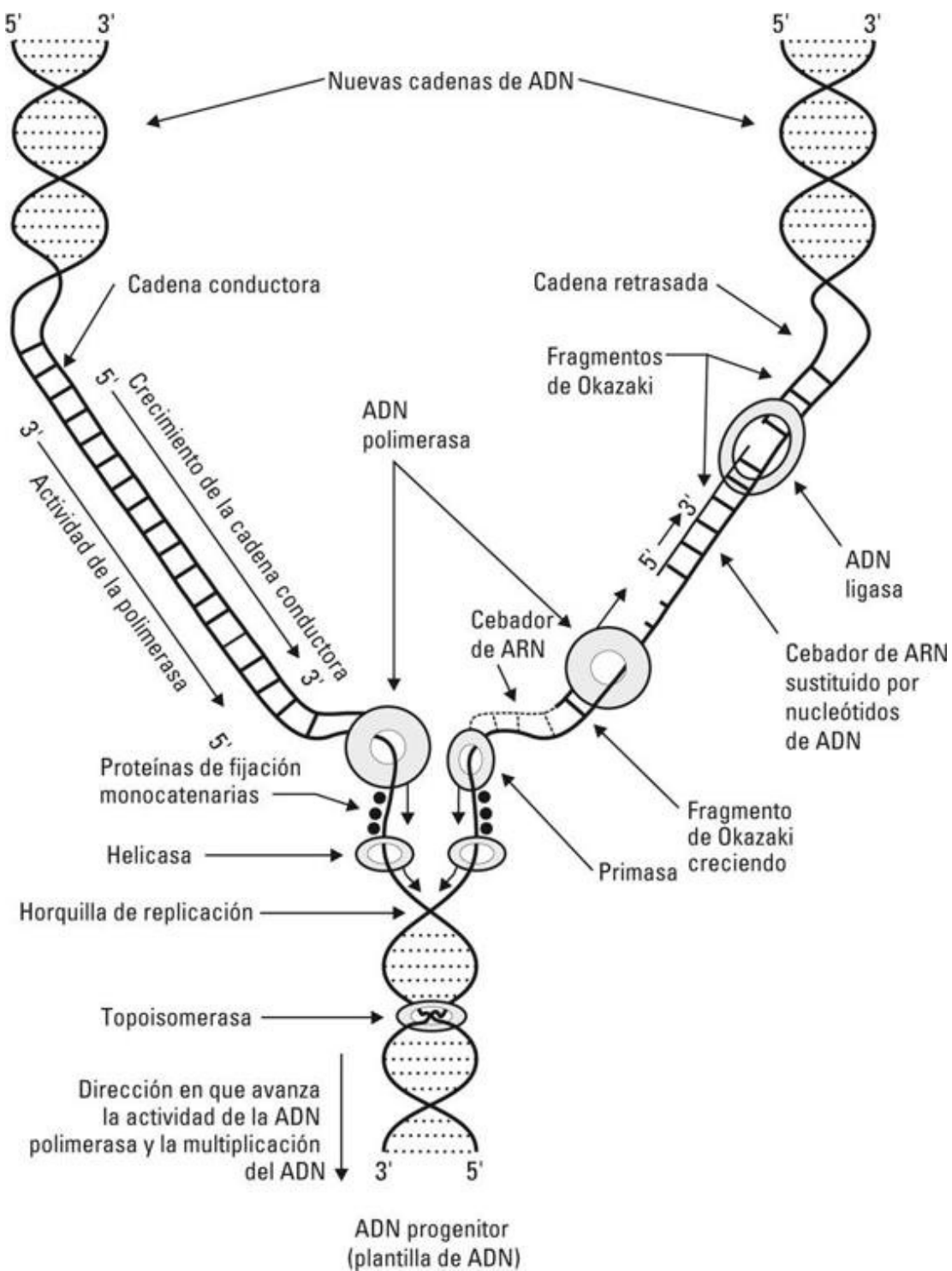


Figura 6-1:
Duplicación del ADN.

División celular: adiós a lo viejo, hola a lo nuevo

La *división celular* es el proceso mediante el cual se forman nuevas células.

Las células capaces de dividirse pasan parte del tiempo que están vivas desempeñando su función y otra parte dividiéndose. Esta alternancia entre división y no división recibe el nombre de *ciclo celular*, y se compone de varias etapas:

- ✓ La parte del ciclo celular en el que la célula no está dividiéndose se llama *interfase*. Durante la interfase, si la célula es un organismo unicelular, probablemente esté ocupada en buscar alimento y crecer. Si forma parte de un organismo pluricelular, por ejemplo un ser humano, desempeñará una función específica; quizá sea una célula cutánea que te protege de las bacterias, o una célula adiposa que almacena energía para gastarla cuando haga falta.
- ✓ Las células que reciben una señal para escindirse entran en un proceso de división que puede ser la mitosis o la meiosis.
 - Las células que se reproducen por vía asexual (por ejemplo una célula cutánea, que sustituirá un trozo de piel que hayas perdido) se dividen por *mitosis*, un proceso que produce células idénticas a la célula madre.
 - Las células que se reproducen por vía sexual lo hacen a través de otro proceso llamado *meiosis*, el cual genera células especiales; los *gametos* (en los animales) y algunas *esporas* (como las de los helechos) que poseen la mitad de la información genética de la célula madre. En los animales vertebrados, entre ellos los humanos, y en la mayoría de los invertebrados las únicas células que se reproducen por meiosis son las células de las *gónadas*; las gónadas masculinas son los testículos y las femeninas son los ovarios. Los testículos producen *espermatozoides*, que son los gametos masculinos; los ovarios producen *óvulos*, que son los gametos femeninos.

La mitosis y la meiosis presentan muchas similitudes, pero también algunas

diferencias fundamentales. En los siguientes apartados explicamos estos dos procesos (y también la interfase), pero la tabla 6-1 muestra un resumen de las diferencias.

Tabla 6-1: Comparación entre mitosis y meiosis	
<i>Mitosis</i>	<i>Meiosis</i>
Solo se produce una división.	Se producen dos divisiones.
Los cromosomas no se juntan en parejas.	En la profase I se emparejan los cromosomas homólogos.
Los cromosomas homólogos no se entrecruzan.	El entrecruzamiento cromosómico es una parte importante de la meiosis, ya que genera variación genética.
Solo hay una anafase, en la cual se separan las cromátidas hermanas.	Las cromátidas hermanas se separan en la anafase II, no en la anafase I (los cromosomas homólogos se separan en la anafase I).
Las células hijas tienen el mismo número de cromosomas que la célula madre, es decir, son diploides.	Las células hijas tienen la mitad de cromosomas que la células madre, es decir, son haploides.
Las células hijas tienen exactamente la misma información genética que la célula madre.	Las células hijas son genéticamente diferentes de la célula madre.
La función de la mitosis es la reproducción asexual en determinados organismos. En otros muchos organismos, la mitosis es un medio para crecer, sustituir células muertas y reparar daños.	La meiosis crea células reproductoras (gametos o esporas). Es el primer paso del proceso para la reproducción sexual de muchos organismos

Interfase: hay que organizarse

Durante la interfase, las células realizan las funciones metabólicas que las hacen únicas. Por ejemplo, las células nerviosas envían señales, las células

glandulares segregan hormonas y las células musculares se contraen. Si las células reciben la señal de reproducirse, entonces crecen, copian todas sus estructuras y crean las estructuras necesarias para que la división celular se desarrolle de forma organizada (*inter* significa ‘entre’, así que la *interfase* es, literalmente, la fase que hay entre dos divisiones celulares).



La membrana nuclear permanece intacta durante toda la interfase, como puedes ver en la figura 6-2. El ADN está diseminado, y no se ven cromosomas individuales. Las células que van a dividirse copian el ADN durante la interfase.

La interfase consta de tres subfases:

- ✓ **Fase G1.** Durante esta fase, que generalmente es la más larga del ciclo celular, la célula crece y sintetiza componentes celulares. Cada cromosoma se compone de un único fragmento de ADN bicatenario (*bicatenario* es solo otra manera de decir que el ADN tiene forma de doble hélice).



Algunas células nunca llegan a salir de la fase G1. En lugar de dividirse, se quedan en su sitio desempeñando su función. Las células nerviosas de los seres humanos son un ejemplo perfecto de células que nunca abandonan la fase G1.

- ✓ **Fase S.** En esta fase la célula se prepara para dividirse y pisa a fondo el acelerador para la multiplicación del ADN. Todas y cada una de las moléculas de ADN se copian de forma exacta y dan como resultado dos *cromátidas hermanas* (un par de moléculas de ADN idénticas) que permanecen unidas entre sí en cada cromosoma duplicado. La figura 6-2 muestra cromosomas duplicados en la célula identificada como profase. Cada cromosoma duplicado tiene forma de X, y cada X representa dos cromátidas idénticas unidas en un lugar del cromosoma llamado *centrómero*.

- ✓ **Fase G2.** Durante esta fase la célula hace las maletas y se prepara para la división celular fabricando las proteínas citoesqueléticas necesarias para mover los cromosomas. Si miras una célula que está dividiéndose, los proteínas citoesqueléticas parecen hebras finas. Durante la mitosis, en el interior de la célula se extiende una red de fibras fusiformes que forman el llamado *huso mitótico*, representado por las líneas curvas finas que puedes ver en las células en la figura 6-2. El huso mitótico organiza los cromosomas durante la mitosis.

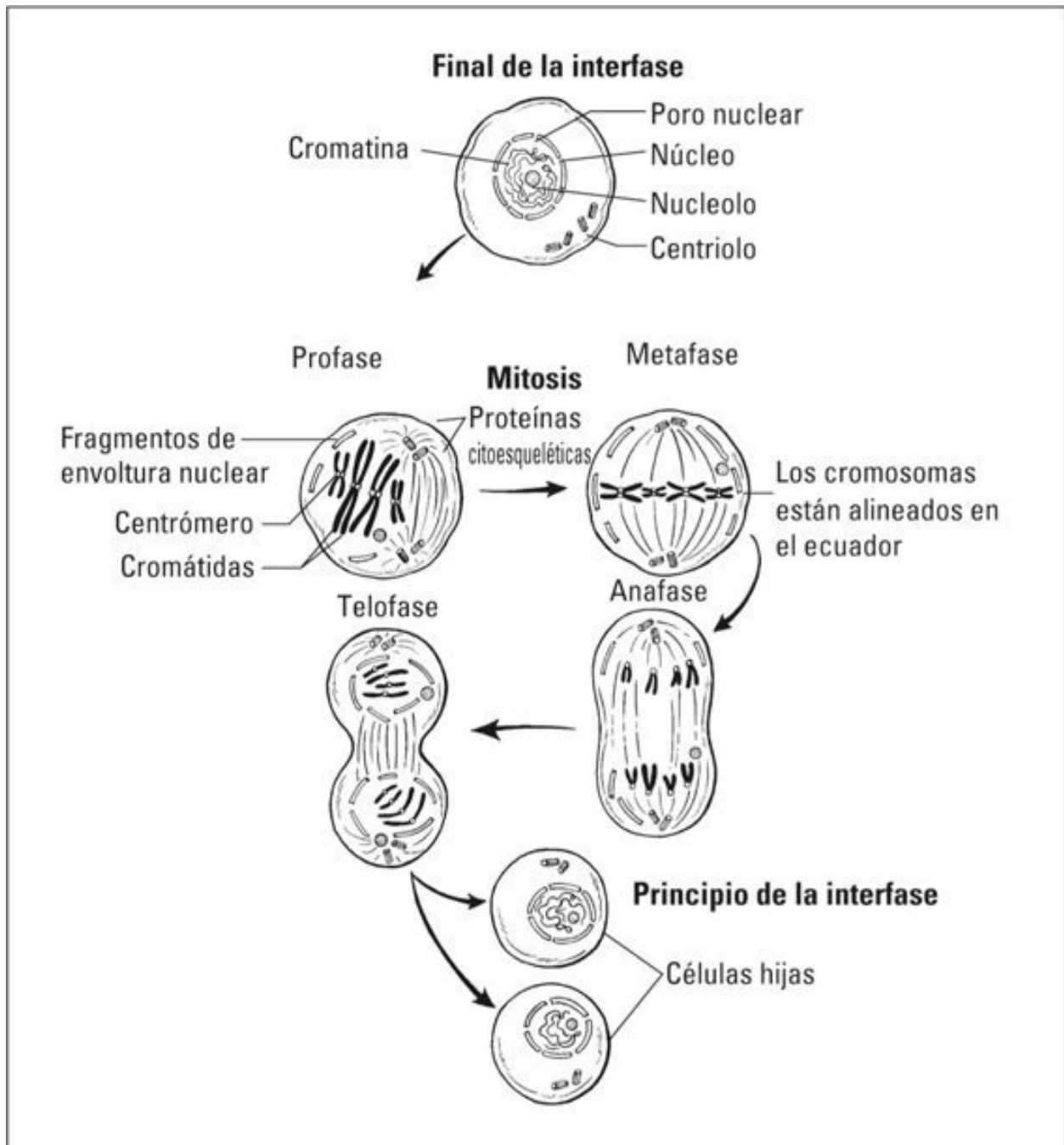


Figura 6-2:
Interfase y mitosis.

Mitosis: uno para ti, y otro para ti

Al concluir la interfase (que se explica en el apartado anterior), las células que van a dividirse inician la mitosis. Durante la mitosis, la célula realiza los

últimos preparativos para su inminente escisión. Los procesos que tienen lugar durante la mitosis garantizan un reparto equitativo del material genético, de forma que cada nueva célula hija recibe información idéntica (las células eucariotas son como unos padres modélicos, preocupados por que no haya riñas entre sus células hijas).

El proceso de la mitosis se divide en cuatro fases. En la última de ellas tiene lugar la citocinesis. En los apartados siguientes lo explicamos todo a grandes rasgos.

Las cuatro fases de la mitosis

Aunque el ciclo celular es un proceso continuo en el que cada etapa sucede a la anterior sin interrupciones, para estudiarla, se divide la mitosis en cuatro fases, cada una de ellas caracterizada por las principales operaciones que tienen lugar. Las cuatro fases cuya representación esquemática puedes ver en la figura 6-2 son:

- ✓ **Profase.** Como preparación para la inminente migración, los cromosomas de la célula se enrollan en paquetes compactos (durante la interfase, el ADN está diseminado por el núcleo de la célula en unas hebras largas y finas que costaría mucho distinguir). Cuando los cromosomas se enrollan, o se condensan, se hacen visibles a través del microscopio. Durante la profase:
 - Los cromosomas se enrollan y se hacen visibles.
 - La membrana nuclear se rompe.
 - Se forma el huso mitótico y los cromosomas se desplazan y se sitúan sobre él.
 - Los nucleolos se rompen y se hacen visibles.
- ✓ **Metafase.** El huso mitótico arrastra los cromosomas hasta que están todos alineados en el centro de la célula.
- ✓ **Anafase.** Los cromosomas duplicados se separan, de forma que las dos cromátidas hermanas (mitades idénticas) de cada cromosoma duplicado se dirigen a extremos opuestos. De esta manera, cuando la división

celular concluye cada nueva célula tiene una copia de todas las moléculas de ADN de la célula madre.

- ✓ **Telofase.** La célula se prepara para escindirse formando nuevas membranas nucleares alrededor de los dos grupos de cromosomas. Cada uno de los dos núcleos hijos tiene una copia de todos los cromosomas que había en la célula madre.
 - La telofase viene a ser el proceso inverso de la profase.
 - Se forman nuevas membranas nucleares alrededor de los dos conjuntos de cromosomas.
 - Los cromosomas se desenrollan y se diseminan por el núcleo.
 - El huso mitótico se rompe.
 - Los nucleolos cambian de forma y vuelven a ser visibles.

Separación de los núcleos hijos por medio de la citocinesis



El último paso de la división celular consiste en proporcionar a los nuevos núcleos hijos sus propias células mediante un proceso llamado *citocinesis* (*Cito* significa ‘célula’, y *cinesis* significa ‘movimiento’, de manera que la *citocinesis* es, literalmente, el ‘movimiento de células’). El mecanismo de la citocinesis es diferente en las células animales y en las vegetales, como se representa en la figura 6-3. Las principales diferencias son las siguientes:

- ✓ En el caso de las células animales, la citocinesis comienza con la formación de un *surco de división* en el centro de la célula. Las proteínas citoesqueléticas actúan a modo de cinturón, estrangulando la célula por la mitad (imagina que aprietas una bola de masa por el centro hasta que obtienes dos bolas de masa).
- ✓ En el caso de las células vegetales, se forma una nueva pared celular en el centro de la célula. Al haber esta pared celular rígida, la célula no puede dividirse por estrangulamiento. En su lugar, las vesículas llevan

elementos de la pared celular al centro de la célula y luego se fusionan formando la placa celular. Las vesículas son como bolsitas membranosas que transportan material de construcción, de modo que al fusionarse sus membranas forman las membranas plasmáticas de las nuevas células. Este material de construcción se acumula entre las nuevas membranas y forma las paredes celulares de la planta.

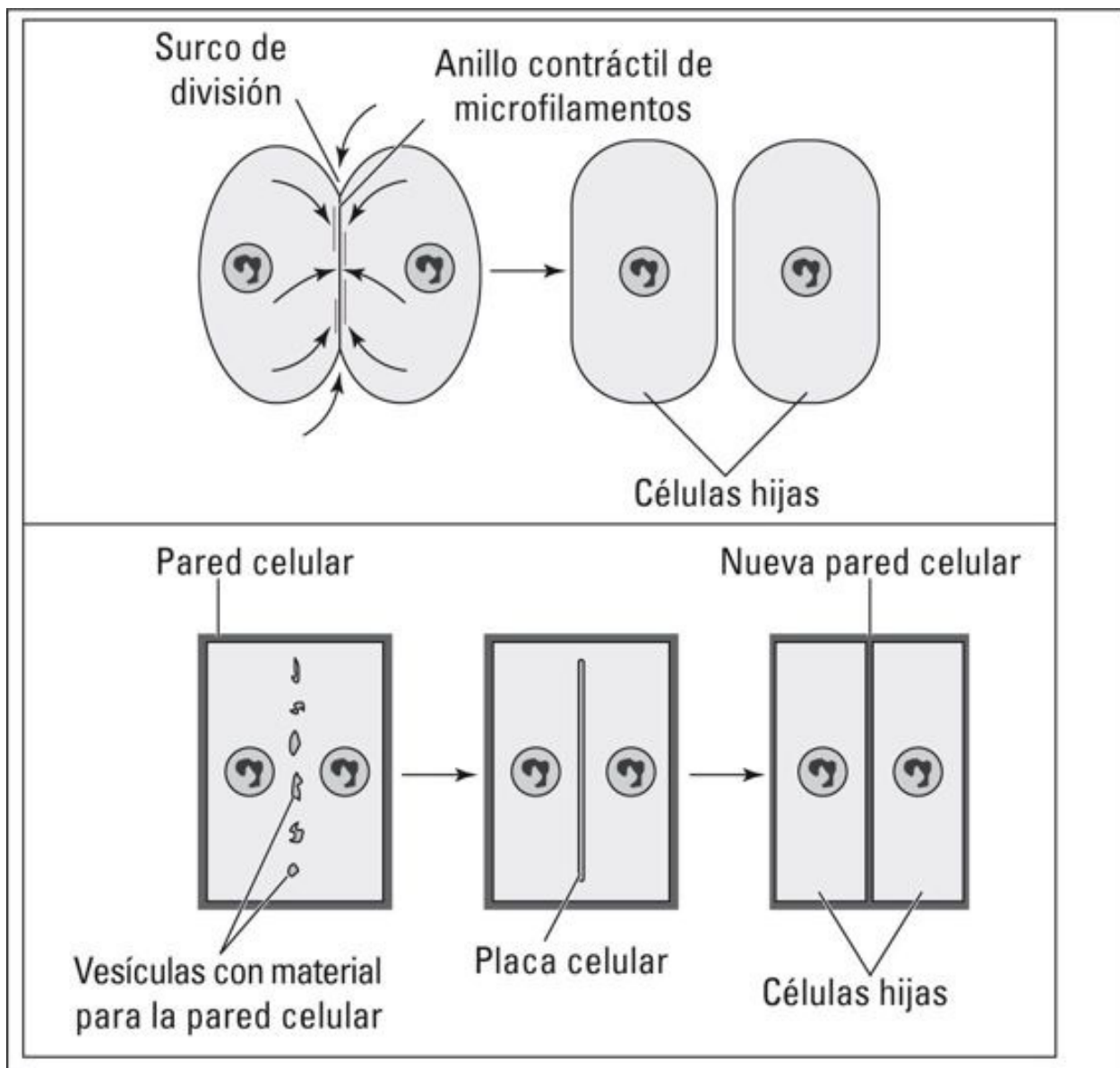


Figura 6-3:
Citocinesis.

Cuando la citocinesis ha concluido, las nuevas células pasan inmediatamente a la etapa G1 de la interfase. No hay nadie que aplauda la gran hazaña que supone haber completado el proceso de la mitosis, lo cual es una pena porque es la base de la renovación y la regeneración celular.

Meiosis: todo por el sexo

La meiosis es única porque las células resultantes tienen tan solo la mitad de *cromosomas* (segmentos individuales de ADN) que las células madre. Las células del cuerpo humano tienen 46 cromosomas, que forman 23 pares distintos. Estos 23 pares de cromosomas pueden clasificarse según sus similitudes físicas, de lo que resulta un mapa cromosómico llamado *cariotipo* (observa la figura 6-4). Los dos cromosomas de cada par se llaman *cromosomas homólogos* (*homo* significa ‘mismo’, de manera que son cromosomas que tienen el mismo tipo de información genética). En cada par de cromosomas homólogos, un cromosoma procede de la madre y el otro del padre (aunque se han podido mezclar un poco). Así que cada individuo tiene dos copias de cada gen, una que proviene del padre y otra procedente de la madre (con la excepción de los genes de los cromosomas X e Y, que son los cromosomas sexuales de los machos, mientras que las hembras tienen dos X).



Los pares de cromosomas homólogos tienen el mismo tipo de información genética. Si uno tiene un gen que participa en la determinación del color de los ojos, por ejemplo, el otro cromosoma tiene un gen que se ocupa de lo mismo y está en la misma ubicación, aunque no necesariamente son iguales. Los mensajes de cada gen pueden ser distintos; por ejemplo, un gen puede tener la instrucción de ojos claros, mientras que el otro puede tener la instrucción de ojos oscuros) pero los dos cromosomas de una pareja tienen los cromosomas con la información para los mismos rasgos en el mismo punto.

Los gametos humanos (espermatozoides y óvulos) tienen 23 cromosomas.

A través de la reproducción sexual (puedes ver el esquema en la figura 6-5),

un espermatozoide y un óvulo se juntan y dan lugar a una nueva célula: el cigoto, que sumará en total 46 cromosomas, como los progenitores. Si los gametos no tuvieran la mitad de la información genética, el cigoto, a partir del cual se desarrollará una nueva persona, tendría el doble de información genética que sus padres, y sería un ser inviable. Asimismo, cuando se producen los gametos, no pueden recibir 23 cromosomas cualesquiera, sino que necesitan uno de cada uno de los 23 pares; de otro modo el cigoto tendría algunos cromosomas de más y otros de menos. El cigoto resultante no tendría la información genética correcta y no sobreviviría.

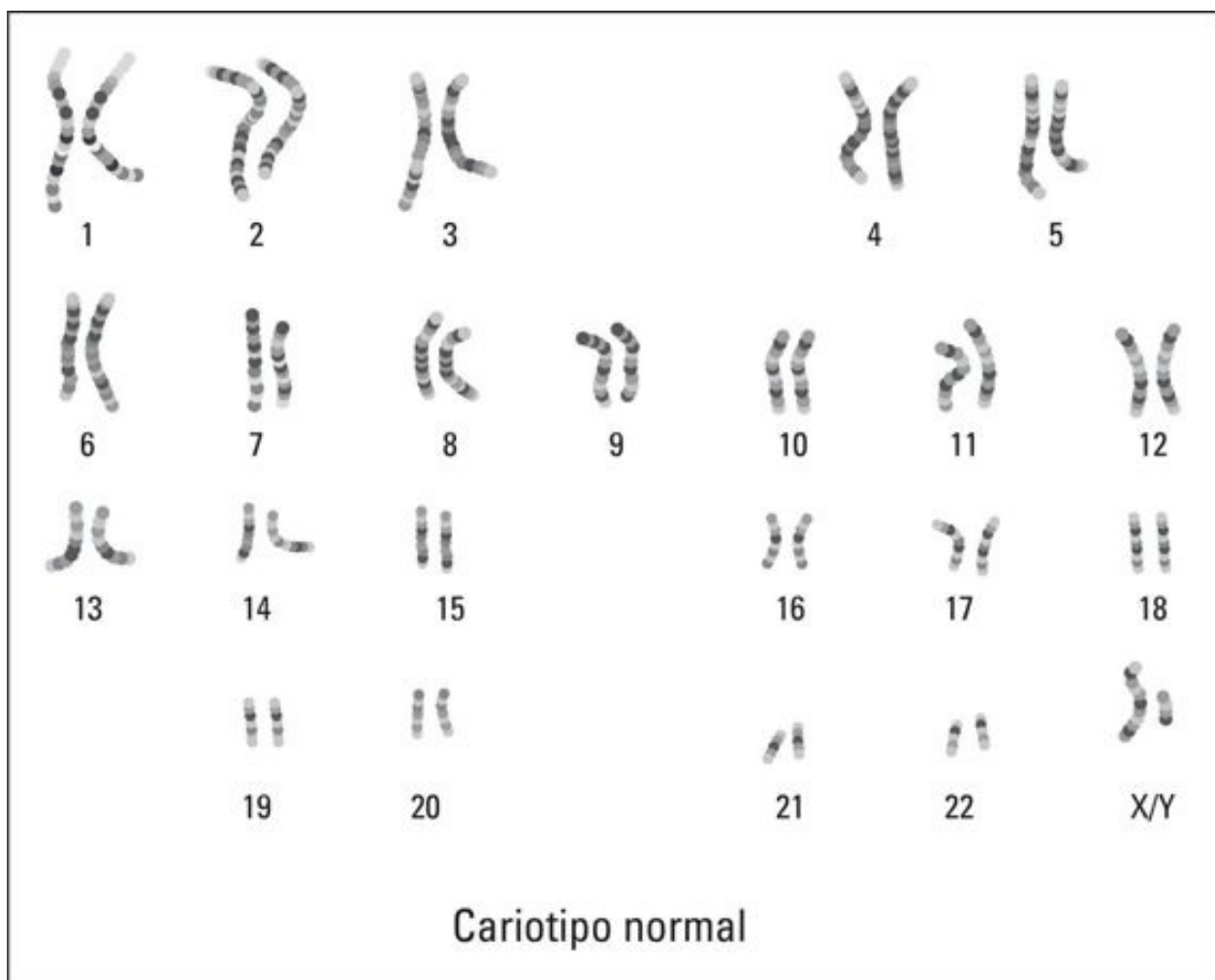


Figura 6-4:
Un cariotipo humano.



La meiosis es la división celular en la que se separan los cromosomas y da como resultado gametos, que reciben un cromosoma de cada pareja de sus progenitores. Como consecuencia, los gametos poseen lo que se llama un número *haploide* de cromosomas, es decir, un único juego.

En los seres humanos, la meiosis separa los 23 pares de cromosomas de forma que cada gameto tiene 23 cromosomas. Cuando los dos gametos se unen, combinan sus cromosomas y el cigoto tiene 46 cromosomas (23 parejas) que hay en una célula *diploide* normal (una célula que tiene un juego de cromosomas doble, es decir, dos de cada tipo).

El proceso de la meiosis se compone de dos divisiones celulares, llamadas *meiosis I* y *meiosis II*.

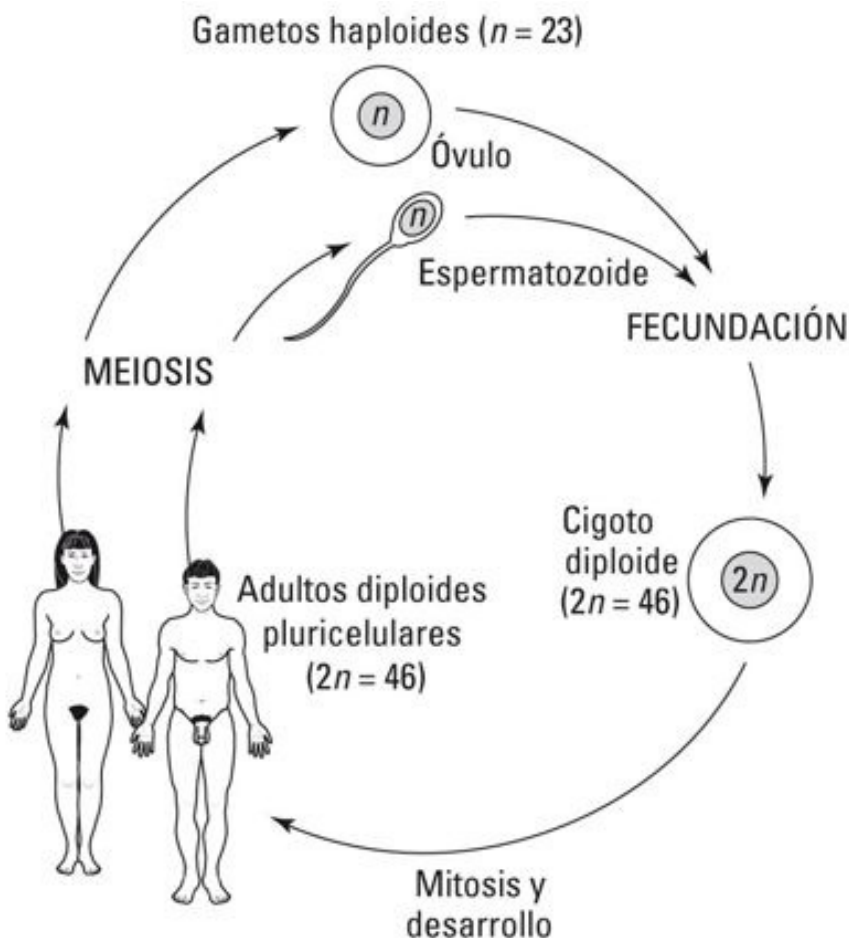


Figura 6-5:

Ciclo de vida de un ser humano.

- ✓ Durante la meiosis I, los cromosomas homólogos se emparejan y luego se separan en dos células hijas. Cada célula hija recibe un cromosoma de cada par, pero esos cromosomas están duplicados (recuerda que la meiosis sigue a la interfase, de manera que la multiplicación del ADN ha generado una copia de cada cromosoma). Estas dos copias, llamadas cromátidas hermanas, están unidas y forman cromosomas duplicados (en la figura 6-6b puedes ver que los cromosomas continúan teniendo forma de X después de la meiosis I).
- ✓ Durante la meiosis II, las cromátidas hermanas de los cromosomas duplicados se separan para producir dos células hijas cada una. Después de la meiosis II, cada una de las cuatro células hijas tiene un cromosoma de cada par, y esos cromosomas ya no están duplicados (si te fijas en la figura 6-6b, verás que las cuatro células hijas no tienen cromátidas hermanas).

En los varones, la meiosis empieza a tener lugar tras la pubertad, cuando las células diploides de los testículos se convierten en haploides. En las mujeres, el proceso comienza mucho antes, en la etapa fetal. Cuando la futura niña está dando pataditas en el útero materno, las células diploides completan la primera parte de la meiosis y luego migran a los ovarios, donde se quedan esperando hasta la pubertad. Cuando comienza la pubertad, las células experimentan la segunda división meiótica por turnos (solo una cada mes, ¡hagan el favor de no empujar!). Generalmente se produce un único óvulo por ciclo, aunque a veces ocurren excepciones y entonces, si hay fecundación, nacen gemelos bivitelinos, o trillizos, o cuatrillizos o... bueno, ya te haces una idea. El resto de las células meióticas sencillamente se desintegran.

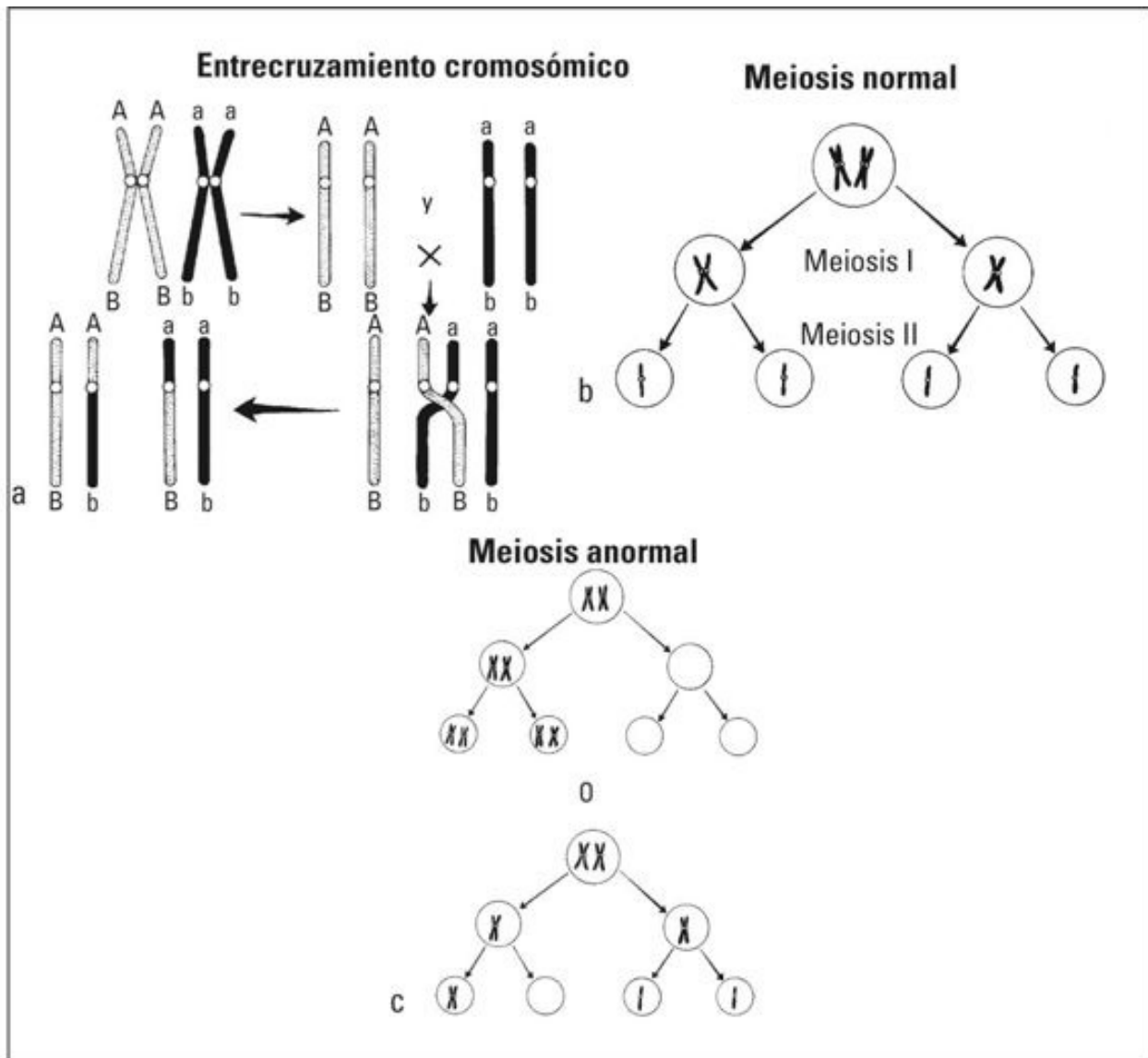


Figura 6-6:
Entrecruzamiento cromosómico, meiosis y no disyunción.



Cuando un espermatozoide humano y un óvulo humano (cada uno con 23 cromosomas) se unen en la fecundación, se restablece el estado diploide de la célula.

Las divisiones posteriores por mitosis dan lugar a un ser humano completo.



Las fases de la meiosis son muy similares a las fases de la mitosis; incluso tienen los mismos nombres, lo cual puede llevarte a confusión. Simplemente debes recordar que la principal diferencia entre las fases de la mitosis y la meiosis es lo que le ocurre al número de cromosomas.

En los siguientes apartados comentamos con detalle cada una de las fases de la meiosis I y la meiosis II.

Meiosis I

La meiosis I es el primer paso de la reproducción sexual. Consta de las siguientes fases:

- ✓ **Profase I.** Durante esta fase la membrana nuclear de la célula se rompe, las cromátidas se enrollan y forman cromosomas visibles, los nucleolos se rompen y desaparecen, y los husos meióticos se forman y se unen a los cromosomas. Pero eso no es todo. En la profase I ocurre algo fundamental para la correcta separación de los cromosomas homólogos: la sinapsis.



La *sinapsis* ocurre cuando los dos cromosomas de cada par se encuentran y se unen. El proceso de sinapsis comienza cuando los cromosomas homólogos se acercan el uno al otro. En ese punto, los dos cromosomas homólogos pueden intercambiar cantidades iguales de ADN mediante un fenómeno llamado *entrecruzamiento cromosómico* (mira la figura 6-6a). Este intercambio de materiales da lugar a cuatro cromátidas únicas. Esta nueva disposición de cuatro cromátidas se llama *tétrada*.



El *entrecruzamiento* de cromosomas homólogos durante la profase I aumenta la variabilidad genética entre gametos producidos por

un mismo organismo, ya que los cromosomas de los hijos no serán exactamente iguales a los de los progenitores. Cada vez que tiene lugar la meiosis, el entrecruzamiento cromosómico puede desarrollarse de una manera un poco distinta, con lo que se reparten cartas diferentes para los gametos que se forman. Esta es una de las razones por las cuales los hermanos pueden ser tan distintos entre sí.

- ✓ **Metafase I.** Los pares de cromosomas homólogos se alinean en el centro de la célula. La diferencia entre la metafase I de la meiosis y la metafase de la mitosis es que en la primera se alinean los pares de cromosomas homólogos, mientras que en la segunda se alinean cromosomas individuales.
- ✓ **Anafase I.** Durante esta fase los dos miembros de cada par de cromosomas homólogos se dirigen a polos opuestos de la célula, y el número de cromosomas se reduce de diploide a haploide.
- ✓ **Telofase I.** En este punto la célula da un paso atrás (o adelante, según se mire) y pasa a un estado similar al de la interfase, para lo cual se invierten los acontecimientos de la profase I. Concretamente, la membrana nuclear y los núcleos vuelven a formarse, los cromosomas se desenrollan y se diseminan por el núcleo, y los husos meióticos se rompen.

Meiosis II

Durante la meiosis II, las dos células hijas generadas por la meiosis I prosiguen con su danza de la división, de manera que, en la mayoría de los casos, el resultado son cuatro gametos.

Las fases de la meiosis II son muy similares a las fases de la meiosis I, con una excepción importante: las células comienzan con la mitad de cromosomas que la célula madre original.



La meiosis II separa las cromátidas hermanas de cada cromosoma duplicado y las envía a polos opuestos de la célula. Las células que progresan de la meiosis I a la meiosis II no pasan de nuevo por la interfase (al fin y al

cabo, eso anularía todo lo ocurrido durante la meiosis I).

- ✓ **Profase II.** Como ocurre en la profase de la mitosis y en la profase I de la meiosis, la membrana nuclear se desintegra, los nucleolos desaparecen y los husos meióticos se forman y se unen a los cromosomas.
- ✓ **Metafase II.** En esta etapa no ocurre nada emocionante, la verdad. Igual que en cualquier metafase, los cromosomas se alinean en el plano ecuatorial. Pero recuerda que el número de cromosomas que se alinean es la mitad de los que había en la célula madre original (y la mitad de los que verías en la mitosis).
- ✓ **Anafase II.** Las cromátidas hermanas de cada cromosoma duplicado se separan y se dirigen a polos opuestos de la célula.
- ✓ **Telofase II.** la membrana nuclear y los nucleolos reaparecen, los cromosomas se toman un breve descanso y los husos meióticos desaparecen.

Tras la meiosis II tiene lugar la citocinesis, que genera cuatro células haploides, lo cual es impresionante, teniendo en cuenta que al principio de la meiosis solo teníamos una célula diploide.

Por qué la reproducción sexual produce variabilidad genética

La reproducción sexual aumenta la variabilidad genética de la descendencia, lo cual, a su vez, aumenta la variabilidad genética de la especie. Los efectos de esta variabilidad pueden verse claramente en las familias numerosas: si te fijas en los niños, verás que todos son personas únicas. Si ahora extrapolas este tipo de variabilidad a todas las familias que conoces (y a todas las familias de todos los organismos de la Tierra que se reproducen por vía sexual), empezarás a hacerte una idea del tremendo impacto genético de la reproducción sexual.

En los apartados siguientes comentamos algunas de las causas concretas de la variabilidad genética, cortesía de la meiosis y de la reproducción sexual.

Mutaciones

De vez en cuando, la ADN polimerasa comete errores al copiar la información genética de una célula durante la multiplicación del ADN (explicada anteriormente en este mismo capítulo). Estos errores se llaman *mutaciones* e introducen cambios en la dotación genética. Además, la exposición de las células a *mutágenos* (agentes ambientales, por ejemplo los rayos X y ciertos productos químicos, que provocan alteraciones en el ADN) puede incrementar el número de mutaciones que ocurren en las células. Cuando se producen cambios en una célula productora de gametos, dichos cambios afectan a las futuras generaciones (en el capítulo 8 encontrarás más información sobre el efecto de las mutaciones).

Entrecruzamiento cromosómico

Cuando los cromosomas homólogos se unen durante la profase I de la meiosis, intercambian trozos de ADN el uno con el otro. Este entrecruzamiento (ilustrado en la figura 6-6a) da lugar a nuevas combinaciones de genes y nuevas oportunidades de variedad. El entrecruzamiento cromosómico es una forma de explicar por qué una persona puede ser pelirroja, igual que el padre de su madre, y tener una barbilla prominente, igual que la madre de su madre. Después del entrecruzamiento, esos dos genes de dos personas diferentes se combinaron en el mismo cromosoma de la madre de la persona en cuestión y se transmitieron juntos.

Segregación independiente

La *segregación independiente* ocurre cuando los cromosomas homólogos se separan durante la anafase I de la meiosis. Cuando los pares de cromosomas homólogos se alinean en la metafase I, cada par lo hace de manera independiente del resto de los pares. Por lo tanto, la forma en que los pares se orientan en una célula durante la meiosis es diferente de la manera en que se orientan en otra célula. Cuando los cromosomas homólogos se separan, puede haber combinaciones diferentes de cromosomas homólogos que migran juntos

al mismo polo de la célula. ¿Cuántas combinaciones diferentes de cromosomas homólogos pueden darse en una célula humana durante una meiosis? La respuesta es 2^{23} , que son exactamente 8.388.608. Ahora ya entenderás mejor por qué incluso las familias muy numerosas pueden tener varios hijos completamente distintos.

Fecundación

La fecundación proporciona una oportunidad más para la variabilidad genética. Imagina millones de espermatozoides genéticamente diferentes nadando en dirección a un óvulo. La fecundación es aleatoria, de manera que el espermatozoide que gana la carrera y fecunda el óvulo será diferente del que gane la siguiente carrera. Además, todos los óvulos también son genéticamente diferentes. Por lo tanto, la fecundación produce combinaciones aleatorias de espermatozoides y óvulos genéticamente diversos, lo cual crea un número prácticamente ilimitado de posibilidades de variación. Por eso todos los seres humanos que han nacido y nacerán en la historia de la humanidad son únicos desde el punto de vista de la genética. Bueno, casi todos. Es posible que de un único óvulo fecundado surjan gemelos idénticos, pero incluso ellos pueden presentar ligeras diferencias debidas al desarrollo.

No disyunción

Nada es perfecto, ni siquiera en el mundo celular, y por eso a veces la meiosis no se desarrolla del todo bien. Cuando los cromosomas no se separan del modo en que deberían hacerlo, es debido a la *no disyunción*. El propósito de la meiosis es reducir el número de cromosomas de diploide a haploide, algo que normalmente ocurre cuando los cromosomas homólogos se separan durante la anafase I. De vez en cuando, sin embargo, a un par de cromosomas les cuesta mucho separarse y entonces terminan los dos en el mismo gameto (observa la figura 6-6c).

Lo que ocurre a continuación no es agradable. A dos de las cuatro células que resultan del proceso meiótico les falta un cromosoma, y también los genes que

porta ese cromosoma. Este problema suele significar que las células están condenadas a morir. Cada una de las otras dos células tiene un cromosoma de más, con el material genético que transporta. Podríamos pensar que eso es beneficioso para esas células, ¿verdad? Debería significar que aumentará las posibilidades de variabilidad genética, lo cual es bueno, ¿verdad?

¡Pues no! Un cromosoma de más es como una carta de Hacienda, algo inesperado y no deseable. La mayoría de las veces, estas células superdotadas se mueren y ahí se acaba todo. Pero en ocasiones sobreviven y acaban convirtiéndose en espermatozoides u óvulos. La auténtica tragedia es que una célula anómala se une con una célula normal. Cuando eso ocurre, el cigoto resultante (y la descendencia) tiene tres cromosomas de un mismo tipo en lugar de dos, que sería lo normal. El término que utilizan los científicos para describir esta situación es *trisomía*.

El problema real de la trisomía es el siguiente: todas las células que se desarrollen por mitosis para crear al nuevo individuo serán trisómicas (es decir, tendrán ese cromosoma de más). Una posible anomalía que resulta de tener un cromosoma de más es el *síndrome de Down*, un trastorno que a menudo causa discapacidad mental, problemas de desarrollo y envejecimiento prematuro.



Los científicos han determinado que el cromosoma relacionado con el síndrome de Down es el cromosoma 21. Si un óvulo que tiene dos cromosomas 21 es fecundado por un espermatozoide normal con un solo cromosoma 21, el hijo que nazca tendrá 47 cromosomas ($24 + 23 = 47$) y padecerá síndrome de Down.



Probablemente ya sepas que la edad de la madre es un factor determinante para la aparición de anomalías genéticas como el síndrome de Down, pero ¿sabes por qué? La respuesta estriba en el hecho de que, en las mujeres, la meiosis I tiene lugar en la etapa fetal, y luego las células permanecen en los ovarios hasta la pubertad, momento a partir del cual un

óvulo cada mes inicia la meiosis II como preparación para la fecundación. Una célula que permanece cuarenta o cuarenta y cinco años esperando a que le toque la vez es bastante vieja, al menos a escala celular (el envejecimiento de los gametos no supone un problema en los varones porque la formación de espermatozoides —que no tiene lugar antes de la pubertad— es un proceso continuo que produce nuevos gametos constantemente).

Cromosomas rosas y cromosomas azules

¿Alguna vez has deseado haber nacido con el sexo contrario para no tener que gastarte tanto dinero en maquillaje o no tener que afeitarte todas las mañanas? Lo sentimos, pero esa decisión no ha estado nunca en tus manos. Igual que cualquier otra característica genética, el sexo de la persona viene determinado por los cromosomas.

En muchos organismos (incluidos los seres humanos y la mosca de la fruta), el sexo de un individuo lo determinan los *cromosomas sexuales*, que los científicos han dado en llamar X e Y. Los 23 pares de cromosomas humanos pueden dividirse en 22 pares de *autosomas*, cromosomas que no intervienen en la determinación del sexo, y un par de cromosomas sexuales. Los hombres y las mujeres tienen los mismos tipos de genes en los 22 autosomas y en el cromosoma X. Pero mientras que las hembras tienen un segundo cromosoma X, los machos tienen un cromosoma Y, que se encarga de activar la formación de los testículos en los fetos masculinos a las seis semanas de gestación, aproximadamente. Una vez que se han formado, los testículos producen testosterona, una hormona que confiere los rasgos masculinos. El cromosoma Y es más pequeño que los demás, ¡pero contiene un gen muy potente!

Monocultivos, una amenaza a la diversidad genética

Aproximadamente hasta la década de 1960, la mayoría de las explotaciones agrícolas estadounidenses (y de gran parte del primer mundo) eran fincas de tamaño reducido donde se plantaban varios cultivos cuyo crecimiento dependía mucho del trabajo humano. Cuando esas explotaciones empezaron a utilizar procesos más mecanizados, aumentaron de tamaño y buscaron una mayor unificación de los cultivos. Al fin y al cabo, las máquinas dan mejor resultado cuando realizan tareas especializadas y repetitivas. Los

agricultores empezaron a plantar grandes extensiones de *monocultivos*, en la que se cosechaban plantas genéticamente idénticas. Esta práctica preocupa a muchos científicos que conceden gran valor a la diversidad genética.

Si una plaga de insectos o un hongo patógeno logra acabar con una cosecha, puede destruir un monocultivo entero de una vez y afectar gravemente al abastecimiento de alimentos de la humanidad. Asimismo, las grandes fincas industriales cada vez confían más en los fertilizantes y pesticidas artificiales para sus monocultivos especializados, lo cual puede alterar el equilibrio entre la explotación agrícola y el medio natural.

Conforme la gente se va dando cuenta de que los monocultivos podrían traer más riesgos que beneficios, esta tendencia está empezando a invertirse. Las explotaciones pequeñas han vuelto a producir cultivos biológicos variados y las empresas están empezando a cosechar variedades antiguas de plantas, llamadas *variedades tradicionales*, y a reintroducirlas en la cadena alimentaria.

Capítulo 7

Mendel y la genética

En este capítulo

- ▶ Definir los rasgos hereditarios y entender por qué los organismos que se reproducen por vía sexual son tan diversos
 - ▶ Explorar los descubrimientos de Mendel sobre la herencia
 - ▶ Dominar la jerga técnica de la genética
 - ▶ Entender el proceso de estudio de los rasgos humanos
-

La genética es la rama de la biología que estudia la transmisión de la información de los progenitores a su descendencia. Todo comenzó hace más de 150 años, cuando un monje llamado Gregor Mendel realizó experimentos de hibridación con plantas de guisantes, que lo llevaron a descubrir las reglas fundamentales de la herencia biológica. Aunque Mendel trabajó con guisantes, sus ideas son perfectamente aplicables a otros organismos, entre ellos, las personas.

En este capítulo te mostramos uno de los experimentos de Mendel y te presentamos algunas de las reglas más importantes de la herencia biológica.

**Por qué eres único: rasgos hereditarios
y factores que influyen en ellos**

Los perros tienen cachorros, las gallinas tienen pollitos y tus padres te tuvieron a ti. ¿Qué tienen en común esos progenitores? Pues que todos transmitieron sus rasgos a sus descendientes. Los rasgos que pasan de una generación a la siguiente se llaman *rasgos hereditarios*.

Cuando los seres vivos se reproducen, realizan copias de su ADN y transmiten parte de ese ADN a la siguiente generación. El ADN es el libro de instrucciones de los rasgos del organismo (en el capítulo 3 encontrarás más información al respecto), lo que significa que las características de la siguiente generación están basadas en las características de los progenitores. Naturalmente, en las especies que se reproducen por vía sexual los descendientes no son exactamente iguales que sus progenitores por varias razones:

- ✓ **Los descendientes reciben la mitad de su información genética del padre y la otra mitad de la madre.** Los progenitores dividen por dos su información genética por medio de la meiosis (descrita en el capítulo 6) y producen espermatozoides y óvulos que se unen para formar un nuevo individuo. Por lo tanto, cada hijo presenta una combinación nueva de los rasgos de sus progenitores. Además, cada espermatozoide y cada óvulo son un poco diferentes de los demás debido al entrecruzamiento cromosómico y la segregación independiente (en el capítulo 6 comentamos con más detalle las causas de la variabilidad genética), lo cual hace que la información genética se mezcle todavía más. El resultado es que verdaderamente eres una persona única; aunque tengas hermanos, todos sois un poco diferentes.
- ✓ **Incluso las características hereditarias pueden variar ligeramente.** Debido a las mutaciones, el ADN cambia un poco cada vez que se copia (en los capítulos 6 y 8 encontrarás abundante información al respecto). Si una mutación pasa de padres a hijos, puede que los hijos tengan un rasgo nuevo. Por ejemplo, la reina Victoria de Inglaterra tuvo hijos y nietos que padecieron hemofilia, una enfermedad mortal que afecta a la coagulación de la sangre; sin embargo, ninguno de sus antepasados la había padecido. Una posible causa de que los hijos de la reina Victoria desarrollaran la enfermedad fue que uno de los progenitores de la reina

sufriera una mutación en el ADN y luego se la transmitiera a ella. La reina Victoria no padeció la enfermedad, pero transmitió la mutación a su descendencia. Los hijos varones que recibieron la mutación padecieron la enfermedad mientras que las hijas no la padecieron pero transmitieron la mutación a su propia descendencia. Eso se debe a que el gen de esta enfermedad está en el cromosoma sexual X. Para padecer la enfermedad una mujer debe tener la mutación en ambos cromosomas X, lo cual no es muy probable porque significa que debe heredar la mutación tanto de su padre como de su madre. Sin embargo, los hombres, como solo tienen un cromosoma X, con solo recibir el gen mutante de su madre ya desarrollan la enfermedad.

- ✓ **Algunos rasgos son adquiridos, no heredados.** Ir en bicicleta, hablar francés y nadar son ejemplos de *rasgos adquiridos*, destrezas que no se heredan ni dependen de los genes, sino que se adquieren a lo largo de la vida. Aunque tus padres también sepan hacer esas cosas, tú tienes que aprenderlas por ti mismo. Por ejemplo, nadie nace con la habilidad natural de nadar (a menos, claro está, que seas un pez).
- ✓ **Muchos rasgos heredados se ven afectados por el entorno.** El color básico de la piel o del pelo, por poner un ejemplo, está escrito en el ADN de un individuo. Sin embargo, si una persona pasa mucho tiempo al sol, la piel se oscurece y el pelo se aclara. El entorno puede influir incluso en la estatura: el ADN marca unos límites, pero la nutrición determina en gran parte si un individuo se desarrollará todo lo que su genética le permite.

Experimentos con guisantes y las leyes de la herencia

Es probable que la gente haya sabido siempre que los padres transmiten rasgos a sus hijos. Después de todo, nada más nacer un bebé todo el mundo intenta averiguar a quién se parece. Sin embargo, la primera persona que realmente descubrió cómo se transmiten los rasgos fue un monje austriaco llamado Gregor Mendel.

Mendel vivió a mediados del siglo XIX. En aquella época la gente creía en la

herencia mezclada, es decir, pensaban que los rasgos de un padre se mezclaban con los rasgos de una madre para producir hijos cuyos rasgos serían un término medio de los rasgos de los progenitores. Así pues, de un padre alto y una madre baja debían nacer hijos de estatura media (si el concepto de herencia mezclada fuera correcto, nadie tendría jamás un hijo que fuera más alto que sus padres).

Mendel, que estaba muy interesado en la ciencia y las matemáticas, quiso verificar esas ideas sobre la herencia cultivando guisantes en el huerto del monasterio. Allí estudió muchos de los rasgos que pensó que pasaban de una generación a otra, como el color de las flores, el color de los guisantes, la altura de las plantas y la forma de los guisantes. Aunque otras personas habían cultivado plantas y criado animales anteriormente para obtener determinadas características deseadas, Mendel fue muy concienzudo con sus experimentos y adoptó un punto de vista científico para analizar la herencia de una forma totalmente nueva, lo cual reveló pautas que nadie más había observado. En los siguientes apartados comentamos los experimentos de Mendel y sus resultados.

Variedades puras

Mendel utilizó plantas de *raza pura* (plantas que siempre reproducen las mismas características en su descendencia) porque debía conocer exactamente el mensaje genético con el que comenzaba al elegir una planta en concreto para sus experimentos. Dicho de otro modo, en caso de elegir una planta de tallo largo, quería estar seguro de que la planta tenía mensajes genéticos para ese rasgo exclusivamente.

A fin de conseguir variedades puras para sus experimentos, Mendel hizo que las plantas que tenían la característica que él quería estudiar se autopolinizaran (así no recibían información genética distinta) y descartó los descendientes que mostraron alguna diferencia hasta que todas las plantas hijas presentaron siempre la característica elegida (las flores de los guisantes tienen partes masculinas y femeninas, de manera que pueden autopolinizarse para producir descendencia). Por ejemplo, Mendel autopolinizó plantas de tallo largo y

descartó las hijas enanas durante varias generaciones hasta obtener una línea que producía siempre plantas de tallo largo. Lo mismo hizo con plantas enanas, autopolinizándolas hasta que únicamente producían descendencia enana.



Los organismos de raza pura que se utilizan como padres en un cruce genético se llaman *progenitores*, o *generación P1*.

Las generaciones F1 y F2

En uno de sus experimentos, Mendel cruzó plantas de tallo largo con plantas enanas.

Según la idea de la herencia mezclada, toda la descendencia debería haber tenido una altura media. Sin embargo, cuando Mendel cruzó sus progenitores, resultó que todas las plantas hijas, llamadas *generación F1*, salieron altas. Parecía que la característica de tallo corto había desaparecido, pero entonces Mendel dejó que las plantas de la nueva generación F1 se autopolinizaran y obtuvo tanto plantas de tallo largo como plantas enanas, lo cual indicaba que la característica de tallo corto simplemente estaba oculta. Esta segunda generación, llamada *generación F2*, tenía, aproximadamente, tres veces más plantas de tallo largo que plantas de tallo corto.



Las generaciones F1 y F2 toman su nombre de la palabra *filial*, que significa ‘relacionado con un hijo o hija’. Por consiguiente, la generación F1 es la primera generación de *hijos e hijas* de los progenitores, y la generación F2 es la segunda generación.

Análisis de los resultados de Mendel

Los resultados de los experimentos de Mendel con las plantas de guisantes fueron muy emocionantes porque no se ajustaban a lo esperado. Es decir,

revelaron algo nuevo sobre la herencia.

A partir de sus resultados, Mendel propuso varias ideas que sentaron las bases de la ciencia genética:



- ✓ Los rasgos están determinados por factores que se transmiten de padres a hijos. Actualmente, a esos factores los llamamos *genes*.
- ✓ Todo organismo tiene dos copias de los genes que controlan todos los rasgos. Los progenitores transmiten a sus descendientes una copia de cada gen. Los descendientes acaban teniendo dos copias de cada gen, una del padre y otra de la madre.
- ✓ Algunas variaciones de genes pueden ocultar los efectos de otras variaciones. Las variaciones que están ocultas son *recesivas*, mientras que las variaciones que ocultan otras variaciones son *dominantes*. Cuando Mendel cruzó plantas altas y plantas enanas, la característica de tallo largo ocultó la característica de tallo corto; por lo tanto, el gen de tallo largo era el dominante.
- ✓ Los genes que controlan los rasgos no se mezclan entre sí ni cambian de una generación a la siguiente. Mendel supo que esto es así porque la característica de tallo corto, que había desaparecido en la generación F1, reapareció en la generación F2.



Los organismos que se producen por vía sexual tienen dos copias de cada gen. Cada progenitor transmite a sus descendientes una sola copia de cada gen. Mendel dijo que esto se debe a que las dos copias de los genes se segregan (se separan una de la otra) cuando los organismos se reproducen. Actualmente esta idea recibe el nombre de *Ley de la segregación de Mendel*.

Terminología sobre genética

Las ideas fundamentales de Mendel han resistido la prueba del tiempo, pero desde entonces los genetistas han descubierto muchas más cosas sobre la herencia biológica. A medida que la ciencia de la genética iba creciendo y desarrollándose, lo mismo ocurrió con el vocabulario empleado por los genetistas.



Hay algunos términos genéticos que resultan especialmente útiles para hablar sobre herencia biológica:

- ✓ **Genes.** Son los factores que controlan los rasgos. Cada *gen* es una secuencia de nucleótidos pertenecientes a la cadena de ADN de un cromosoma (en el capítulo 14 encontrarás más información sobre los cromosomas). Algunos genes tienen una longitud de miles de nucleótidos, mientras que otros tienen menos de cien. En tus células hay alrededor de 25.000 genes distribuidos en los 46 cromosomas. Cada gen contiene la información necesaria para la síntesis de una molécula celular, generalmente una proteína. Los genes determinan la forma y la función de la proteína, y las acciones de las proteínas controlan tus rasgos.

Por ejemplo, el color de la piel, del pelo y de los ojos está determinado por la cantidad de melanina que acumulan las células. Unas proteínas llamadas enzimas ayudan a fabricar melanina y otras proteínas ayudan a depositarla en los lugares adecuados. Si tus genes contienen el código necesario para que las proteínas realicen correctamente esa tarea, tu color será más oscuro. Si tus genes codifican proteínas que no fabrican tanta melanina o bien no la depositan en la piel, el pelo o los ojos, tendrás un color más claro.

- ✓ **Alelos.** Los *alelos* son las distintas formas que puede adoptar un gen; son la explicación de que Mendel, en sus experimentos con guisantes, viera plantas altas y plantas pequeñas. Lógicamente, el gen que controla la altura de la planta tiene dos variantes, o alelos: una para el tallo largo y otra para el tallo corto. Las plantas que tienen dos alelos de tallo largo

son altas y las plantas que tienen dos alelos de tallo corto son pequeñas. Como Mendel observó, las plantas que tienen un alelo de cada tipo también son altas, lo cual indica que el alelo de tallo largo puede ocultar los efectos del alelo de tallo corto. Dicho de otro modo: el alelo de tallo largo es dominante sobre el alelo de tallo corto en las plantas de guisantes.

En las personas, los alelos correspondientes a colores oscuros generalmente son dominantes sobre los alelos que codifican colores más claros. Así pues, para un gen que controla el color de la piel, los alelos que determinan el color oscuro son dominantes sobre los alelos que determinan el color claro. El color de la piel de una persona cualquiera depende de su combinación única de alelos para color claro u oscuro.

- ✓ **Locus.** Es una ubicación determinada de un gen en un cromosoma. Cada gen se encuentra en un lugar concreto, o *locus*, en su cromosoma. En organismos de la misma especie, el mismo gen se encuentra en el mismo locus en todos los individuos. En el caso de los seres humanos, por ejemplo, el gen que determina el tipo sanguíneo A, B o O se encuentra siempre en el mismo locus del cromosoma 9; y el gen de la fibrosis quística se encuentra siempre en el mismo locus del cromosoma 7.

Muchas características humanas no están controladas por un único gen. Rasgos como la estatura, el peso y el color de la piel, del pelo y de los ojos son el resultado de la interacción de varios genes. Estos rasgos se llaman *rasgos poligénicos* (*poli* significa ‘muchos’ y *génico* significa ‘genes’). Los rasgos poligénicos generalmente presentan una gran variedad en la población. Las plantas de los guisantes, por ejemplo, pueden ser bajas o altas, sin posibilidades intermedias, mientras que la estatura de una persona adulta puede tener valores diversos. Esta diferencia se debe a que la estatura de las personas es un rasgo poligénico, mientras que la altura de las plantas de guisantes está controlada por un solo gen.

Cruces genéticos

Los genetistas utilizan una forma de representación abreviada para analizar los resultados de un *cruce genético* (un cruce entre dos organismos que poseen las características que los científicos quieren estudiar). A cada rasgo se le asigna una letra, escrita en mayúscula cuando designa el alelo dominante. A los alelos de un mismo par les corresponde la misma letra del alfabeto, para mostrar que son variaciones del mismo gen.

Para el cruce que llevó a cabo Mendel entre plantas de tallo largo y plantas bajas (encontrarás más información sobre este experimento en el apartado “Experimentos con guisantes y las leyes de la herencia”, un poco antes en este mismo capítulo) podemos utilizar la letra *T* para representar el gen que determina la longitud del tallo de la planta. En la figura 7-1, el alelo dominante (el que determina una planta de tallo largo) se representa como *T*, mientras que el alelo recesivo (el que determina una planta de tallo corto) se representa como *t*.

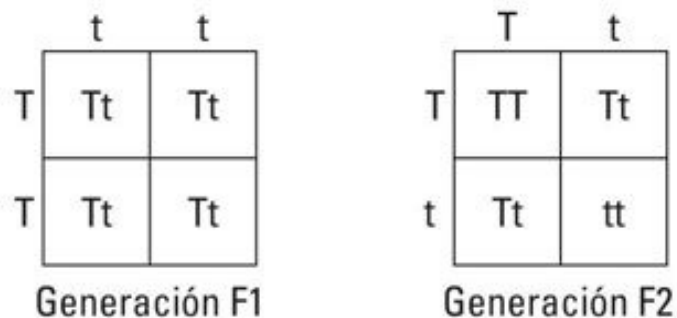


Figura 7-1:

Cruce que llevó a cabo Mendel entre plantas de tallo largo y plantas enanas.

Los genetistas también utilizan términos especiales para describir los organismos que intervienen en un cruce genético. Son los siguientes:

- ✓ **Genotipo.** La combinación de alelos que presenta un organismo es su *genotipo*. Los genotipos de las dos plantas progenitoras representadas en la figura 7-1 son *TT* y *tt*.
- ✓ **Fenotipo.** El aspecto externo que presentan los rasgos de un organismo es su *fenotipo*. Los fenotipos de las dos plantas progenitoras representadas en la figura 7-1 son tallo largo y tallo corto.

Existe una herramienta llamada *cuadrado de Punnett* que ayuda a los genetistas a predecir el tipo de descendencia que podría resultar de un determinado cruce genético. En la figura 7-1, un cuadrado de Punnett muestra el cruce entre las plantas de guisantes de la generación F1. Los alelos que cada progenitor puede aportar a su descendencia se escriben en los lados del cuadrado. Todas las combinaciones posibles de alelos que podrían resultar del cruce se escriben dentro del cuadrado.

Si Mendel hubiera utilizado la notación y la terminología genética moderna, habría analizado su experimento de la manera siguiente (consulta la figura 7-1 si necesitas una referencia):

1. Las plantas progenitoras de guisantes son variedades puras, de modo que únicamente tienen un tipo de alelo, pero cada planta individual tiene dos alelos para cada gen. Los alelos de progenitores de tallo largo se indican como *TT* y los alelos de progenitores de tallo corto se indican como *tt*. Como sus dos alelos son iguales, las plantas progenitoras son *homocigóticas* para el rasgo de longitud del tallo (*homo* significa ‘mismo’, y *cigótico* viene de una raíz griega que significa ‘juntos’).
2. Cada progenitor transmite un alelo a cada descendiente. Como las plantas progenitoras son de raza pura, únicamente pueden transmitir un tipo de alelo. Los progenitores de tallo largo siempre transmiten una copia del alelo de tallo largo (*T*) a sus descendientes, mientras que los progenitores de tallo corto siempre transmiten una copia del alelo de tallo corto (*t*). Las copias de esos alelos se juntan en gametos (espermatozoides y óvulos) cuando las plantas se reproducen.
3. Los espermatozoides y los óvulos de los progenitores se combinan, y los descendientes de la generación F1 reciben dos alelos del gen que determina la longitud del tallo. Todos los descendientes de la generación F1 tienen una copia de cada alelo, de manera que sus alelos se designan como *Tt*. Puesto que los alelos son diferentes, las plantas F1 son *heterocigóticas* para la longitud del tallo (*hetero* significa ‘diferente’). Aunque las plantas F1 son heterocigóticas, todas ellas deberían tener el tallo largo porque el alelo de tallo largo es dominante sobre el alelo de tallo corto. Esto es exactamente lo que Mendel observó: el rasgo de

tallo corto procedente de sus plantas progenitoras pareció haber desaparecido en la generación F1.

4. Al cruzar plantas F1, cada una puede formar dos tipos de gametos: unos que porten el alelo dominante y otros que porten el alelo recesivo. Para ver todas las combinaciones posibles de descendientes que podrían tener las plantas F1 se utiliza un cuadrado de Punnett como el representado en la figura 7-1.
5. El cuadrado de Punnett de la figura 7-1 representa que los descendientes de la generación F2 tendrán tres genotipos diferentes: TT , Tt y tt . Por cada descendiente TT , debería haber dos descendientes Tt y un descendiente tt . Dicho de otro modo: la *frecuencia genotípica* (la frecuencia o proporción de los genotipos resultantes de este cruce) para la generación F2 es 1:2:1 para $TT:Tt:tt$.
6. El alelo de tallo largo es dominante sobre el alelo de tallo corto, de modo que las plantas F2 que sean TT o Tt serán altas; solo las plantas F2 que sean tt serán enanas. Por tanto, lo que se lee en el cuadrado de Punnett es que por cada tres plantas de tallo largo habrá una sola de tallo corto. Dicho de otro modo: la *frecuencia fenotípica* (la frecuencia o proporción de los fenotipos resultantes de este cruce) para la generación F2 es 3:1 para tallo largo: tallo corto. Eso es exactamente lo que Mendel observó: por cada planta enana que brotó en su generación F2, había tres de tallo largo.



Cuando dos organismos que son heterocigóticos para un único rasgo se cruzan entre sí, esa combinación se llama *cruce monohíbrido* (*mono* significa 'uno', e *híbrido* significa 'algo procedente de orígenes diferentes', de modo que un *monohíbrido* es un organismo que tiene dos alelos diferentes para un solo rasgo). El cruce entre plantas F1 representado en la figura 7-1 es un ejemplo de cruce monohíbrido.

Estudiar rasgos genéticos en personas

Una de las razones de que las plantas resulten tan adecuadas para realizar estudios genéticos es que es posible controlar su reproducción. Desde el punto de vista de la genética, los animales son mucho menos colaboradores. ¡Y no digamos las personas! Además, los seres humanos no producen tantos descendientes como las plantas y los niños tardan mucho en crecer para poder evaluar la apariencia de sus rasgos. Por consiguiente, cuando los genetistas quieren estudiar rasgos humanos, tienen que observar familias ya existentes. En los apartados siguientes explicamos cómo los genetistas estudian los árboles genealógicos y contrastan distintas hipótesis de herencia. Asimismo, mostramos las conclusiones a las que han llegado en cuanto a rasgos dominantes y recesivos en los seres humanos.

Dibujar un genograma

Para comprender la herencia de un rasgo humano hay que comenzar por recopilar información sobre las personas de una familia que presentan ese rasgo y anotar la información en la versión de árbol familiar que manejan los genetistas, llamada *genograma*. Los símbolos del genograma (que puedes observar en la figura 7-2a) proporcionan información sobre la familia y el rasgo que son objeto de estudio.

- ✓ Los cuadrados representan varones y los círculos representan mujeres.
- ✓ Una línea entre dos símbolos representa un matrimonio.
- ✓ Una línea vertical conectada a la línea de un matrimonio indica que el matrimonio tuvo un hijo. Los hijos se disponen en orden de nacimiento de izquierda a derecha.
- ✓ Los símbolos oscurecidos indican personas cuyos rasgos son objeto de estudio y los símbolos blancos son para personas que no presentan esos rasgos.
- ✓ Un símbolo cruzado por una línea diagonal indica que la persona ha fallecido.

- ✓ Los números romanos que aparecen a la izquierda de cada línea representan las distintas generaciones. A cada persona de una generación se le asigna un número arábigo, de manera que cualquier persona del genograma puede ser identificada mediante la combinación de su número de generación y su número individual. La persona fallecida de la figura 7-2c, por ejemplo, se identifica como el individuo VI-1.

Estudiando un genograma, los genetistas generalmente pueden averiguar si un rasgo está causado por un alelo dominante o recesivo. Así, por ejemplo, el rasgo mostrado en la figura 7-2c tiene que estar causado por un alelo recesivo. El símbolo del individuo VI-1 está oscurecido, lo que significa que esa persona tenía el rasgo objeto de estudio. Sin embargo, vemos que ninguno de sus padres presenta el rasgo en cuestión. Se deduce que los padres fueron portadores del alelo porque los hijos reciben los alelos de sus padres, pero el alelo no se hizo visible en ninguno de los padres. Cuando un alelo está presente pero no se manifiesta en el fenotipo de una persona, ese rasgo es recesivo.

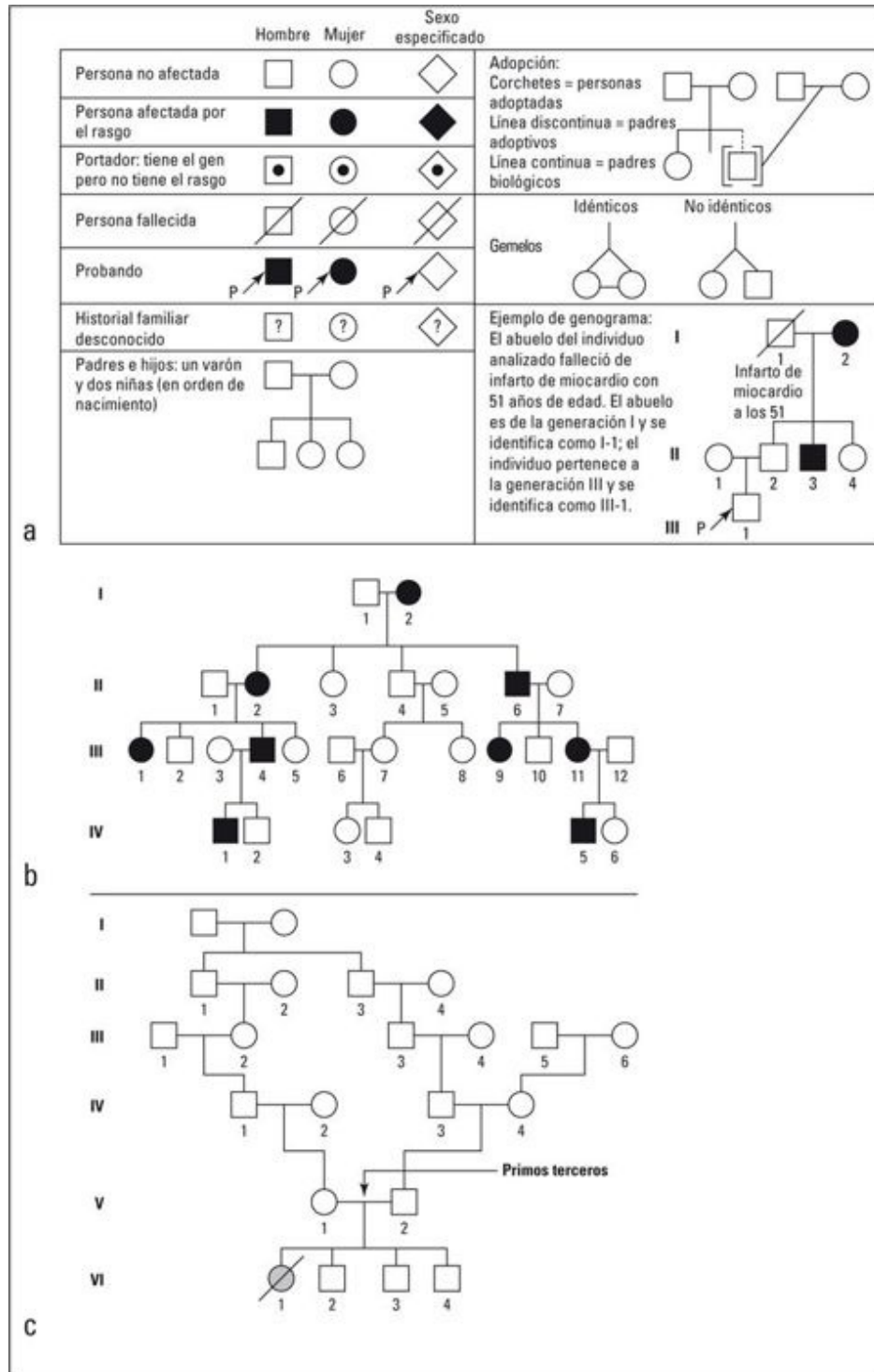


Figura 7-2:
Genogramas y símbolos.

Contrastar diferentes hipótesis de herencia

Un genograma por sí solo no siempre proporciona suficiente información para determinar el patrón hereditario de un rasgo. A fin de comprobar si un tipo de herencia en particular se ajusta a una genealogía, debes seguir los pasos siguientes:

1. Decide qué tipo de herencia vas a verificar.

Supongamos, por ejemplo, que quieres contrastar la hipótesis de que el rasgo de la figura 7-2b está causado por un alelo dominante.

2. Define la notación de los alelos.

Lo que quieres comprobar es la dominancia del rasgo, así que propones que A represente el alelo dominante y a represente el alelo recesivo.

3. Asigna genotipos a las personas cuyo genotipo sea conocido.

Puesto que estás proponiendo que el rasgo es dominante, las personas que no presenten el rasgo deben tener dos copias del alelo recesivo (si tuvieran al menos una copia del alelo dominante, entonces el rasgo sería visible, y los símbolos estarían oscurecidos). En la figura 7-2b, todas las personas que tienen símbolos en blanco deben ser homocigóticas recesivas, es decir, aa . Escribe los genotipos bajo sus símbolos.

4. Empieza con las personas cuyos genotipos conoces para deducir los genotipos de otras personas.

Saca conclusiones a partir de la información que tienes sobre los padres y otros hijos. Por ejemplo, la persona I-2 tiene el rasgo, lo que significa que tiene, al menos, una copia del alelo dominante. Con eso ya sabes que su genotipo es $A-$ (el guión representa su segundo alelo, de momento desconocido). Para averiguar su segundo alelo, fíjate en los hijos. Si fuera homocigótica dominante, es decir, AA , entonces solo podría transmitir a sus hijos un tipo de alelo: el alelo A . Estás verificando si ese rasgo es dominante; según esa hipótesis cualquier hijo que tenga al menos un alelo A mostrará el rasgo. Sin embargo, dos de los hijos de I-2 no tienen el rasgo. Por consiguiente, esa mujer es capaz

de transmitir también el alelo a , con lo que su genotipo tiene que ser Aa . Si no puedes averiguar el genotipo completo de alguien mirando los genotipos de las personas cuya información conoces con certeza, puedes dejar un guión en el genotipo de esa persona para representar al alelo incierto.

5. Si encuentras un lugar del genograma donde los genotipos de padres e hijos entran en conflicto, debes rechazar la hipótesis formulada sobre la herencia del rasgo.

Por ejemplo, si has propuesto que el rasgo de la figura 7-2c está causado por un alelo dominante, entonces la persona VI-1 debió tener al menos un alelo dominante. Eso es imposible porque ninguno de los padres de VI-1 muestra el rasgo, y sabemos que uno de ellos debería ser portador de al menos un alelo dominante para transmitirlo a VI-1. Puesto que los genotipos propuestos son imposibles, debes rechazar la hipótesis de que este rasgo podría ser transmitido por un alelo dominante.

El rasgo mostrado en la figura 7-2b, en cambio, sí parece estar causado por un alelo dominante, ya que en todas las generaciones hay alguien que presenta el rasgo. Dicho de otro modo: el rasgo nunca se oculta, como ocurriría con un rasgo recesivo. Sin embargo, a partir de este único genograma no puedes estar totalmente seguro. Si planteas la hipótesis de que el rasgo es recesivo y la contrastas por medio de los pasos anteriores, puedes asignar un genotipo a todas las personas sin encontrar ningún conflicto. En este tipo de situaciones, cuando el genograma es compatible con más de un tipo de herencia, los genetistas recopilan más información de otras familias.

De hecho, a veces tienen que estudiar muchos genogramas antes de poder demostrar la herencia de un determinado rasgo.

Extraer conclusiones sobre rasgos

En general, la herencia dominante y la herencia recesiva muestran dos patrones distintos en un genograma humano:

- ✓ **Los rasgos transmitidos por alelos recesivos suelen saltarse**

generaciones. Por ejemplo, un niño pelirrojo puede tener un abuelo pelirrojo pero padres rubios. Si unos padres que no muestran un determinado rasgo tienen un hijo que sí muestra ese rasgo, significa que el rasgo es recesivo.

- ✓ **Los rasgos transmitidos por alelos dominantes suelen aparecer en todas las generaciones.** Si los padres de ojos marrones tienen más de un hijo, lo normal es que varios de esos hijos tengan los ojos marrones. Sin embargo, es posible que las personas que tienen los ojos marrones tengan una sola copia del alelo dominante, de modo que podrían transmitirlo a sus hijos en alelos recesivos. Esto explica por qué dos personas de ojos marrones pueden tener hijos con los ojos azules. De hecho, cuando dos padres que presentan un rasgo en particular tienen hijos que no presentan el rasgo, sabes con certeza que el rasgo es dominante.

Capítulo 8

El libro de la vida: el ADN y las proteínas

En este capítulo

- ▶ Entender por qué el ADN y las proteínas son tan importantes
 - ▶ Producir proteínas
 - ▶ Conocer algunas de las mutaciones del ADN
 - ▶ Controlar los genes
-

Sin el ácido desoxirribonucleico (ADN), tus células (y todas las células del resto de los seres vivos que hay en el planeta) no existirían. La razón es que el ADN controla la estructura y el funcionamiento de los organismos, en gran medida porque es esencial para la producción de las proteínas que determinan las características de un ser vivo. Cuando se producen cambios en el ADN de una o más células, los efectos sobre el organismo pueden ser desastrosos.

En este capítulo te mostramos hasta qué punto el ADN y las proteínas son importantes para tu vida cotidiana. Prepárate para descubrir cómo el ADN y el ARN (ácido ribonucleico) colaboran en la síntesis de proteínas, los tipos de mutaciones de ADN que ocurren, cómo te afectan esas mutaciones y mucho más.

El ADN fabrica las proteínas

Como probablemente sepas ya, el ADN contiene la información genética y las instrucciones relativas a tus rasgos. Lo que quizá no sepas es el modo exacto en que el ADN hace que tengas un determinado aspecto y funciones de una determinada manera. El ADN contiene las instrucciones para la construcción de las moléculas que llevan a cabo las funciones de las células. Esas moléculas funcionales son, en su mayoría, proteínas, y las instrucciones para la síntesis de esas proteínas se encuentran en los *genes*, que son segmentos de ADN.

Las células son como pequeñas fábricas que deben llevar a cabo ciertas funciones. Cada función depende de las acciones de los autómatas que operan en la fábrica. El ADN son las instrucciones para la construcción de cada tipo de autómata. Si los autómatas se construyen de acuerdo con las instrucciones, funcionan tal y como deben. Gracias al trabajo de los autómatas, la fábrica realiza tareas concretas. En las células no hay autómatas en miniatura, sino moléculas trabajadoras que realizan las funciones de la célula. Si una de esas moléculas no trabaja como es debido, las células funcionarán de manera distinta a la que deben, lo cual puede repercutir en los rasgos de la persona.



Cada gen contiene información para sintetizar una molécula funcional. Como muchas de las moléculas funcionales de las células son proteínas, los genes a menudo contienen instrucciones para fabricar las cadenas polipeptídicas que forman proteínas (en el capítulo 3 encontrarás más información sobre la estructura de las proteínas). Por lo tanto, generalmente un gen es igual a una cadena polipeptídica.

A veces cuesta ver hasta qué punto puede llegar a influirte una simple proteína. Al fin y al cabo los seres humanos tenemos alrededor de 25.000 genes, de manera que fabricamos muchas proteínas diferentes. ¿Cómo es posible que una sola proteína defectuosa cause algún problema?

Bueno, si las células cutáneas no pudieran fabricar colágeno, que es una proteína, la piel se te desprendería con el más mínimo roce. Y si las células del

páncreas no pudieran producir insulina, tendrías diabetes. Como puedes ver, todas las funciones del cuerpo que probablemente das por sentadas (la forma en que está construido, su aspecto y su funcionamiento) están controladas por las acciones de proteínas.

ADN, ARN y síntesis de proteínas: el dogma central de la biología molecular

Las instrucciones del ADN determinan la estructura y el funcionamiento de todos los seres vivos, lo cual convierte al ADN en una molécula fundamental. Cada vez que una célula se reproduce, tiene que elaborar una copia de esas instrucciones para la nueva célula. Cuando las células tienen que sintetizar una molécula funcional (generalmente una proteína), copian la información de los genes a una molécula de ARN en lugar de utilizar directamente las instrucciones del ADN (en el capítulo 3 encontrarás más información sobre las moléculas de ARN). El proceso se desarrolla de la manera siguiente:

- ✓ Por medio de la *transcripción*, las células copian la información del ADN a moléculas de ARN.
- ✓ La información para la síntesis de proteínas se copia en un tipo especial de ARN llamado *ARN mensajero* (ARNm). El ARNm transporta esas instrucciones desde el núcleo hasta el citoplasma, donde pueden utilizarse para sintetizar la proteína.
- ✓ Por medio de la *traducción*, las células sintetizan proteínas a partir de la información contenida en las moléculas de ARNm.



La idea de que la información se almacena en ADN, se copia a ARN y luego se utiliza para sintetizar proteínas es lo que se llama *dogma central de la biología molecular*.



La transcripción y la traducción son dos procesos celulares completamente diferentes. Para recordar cuál es cuál, piensa en el significado de esas palabras. Cuando transcribes algo, lo estás copiando. La transcripción celular coge la información del ADN y la traslada al ARN. El ADN y el ARN son moléculas similares, de manera que en realidad no estás cambiando nada; simplemente estás copiando la información. En cambio, cuando traduces algo lo cambias de un idioma a otro. La traducción celular coge la información del ARNm y la utiliza para sintetizar una proteína, que es un tipo de molécula diferente. Por lo tanto, la traducción cambia el idioma molecular de ARN a proteína.

En los apartados siguientes analizamos con más detalle la transcripción, la maduración del ARN y la traducción.

Transcripción: reescritura del mensaje del ADN

Las moléculas de ADN son cadenas largas compuestas por cuatro segmentos diferentes llamados *nucleótidos* que los biólogos representan con las letras A, T, C y G (en el capítulo 3 hablamos sobre la estructura del ADN). Estas unidades químicas se unen en diferentes combinaciones que forman las instrucciones para las moléculas funcionales de las células, en su mayoría proteínas.

Cuando las células necesitan sintetizar una determinada proteína, la enzima ARN polimerasa localiza el gen de esa proteína y lo copia a ARN (la ARN polimerasa está representada en el paso 2 de la figura 8-1). Como el ARN y el ADN son moléculas similares, pueden unirse el uno al otro igual que las dos cadenas de la doble hélice del ADN. La ARN polimerasa recorre el gen insertando nucleótidos de ARN a partir de los nucleótidos de ADN.



Las reglas de emparejamiento de bases para la unión de nucleótidos

de ARN y ADN son casi idénticas a las que se aplican para la unión de las dos cadenas de ADN (están explicadas en el capítulo 3). La novedad en este caso es que el ARN contiene nucleótidos con uracilo (U) en lugar de timina (T). Durante la transcripción, la ARN polimerasa empareja C con G, G con C, A con T, y U con A (puedes verlo representado en la figura 8-1. Observa que la secuencia CUAG de la nueva hebra de ARN se empareja con la secuencia GATC del gen).

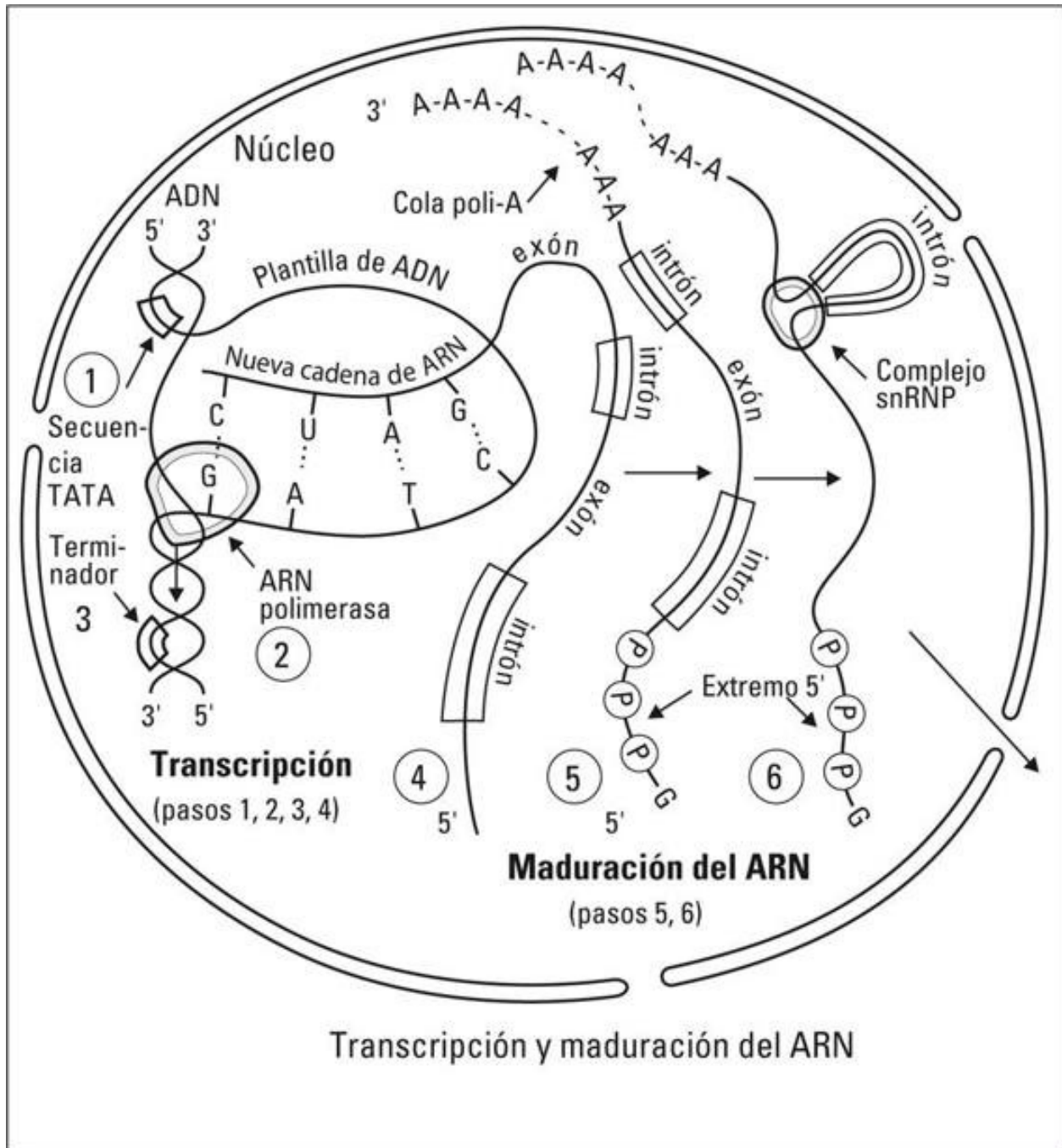


Figura 8-1:
Transcripción de ADN y maduración de ARNm en el núcleo de una célula eucariota.

A lo mejor te parece raro que las células copien la información de los genes en una especie de imagen especular hecha de ARN, pero lo cierto es que tiene mucho sentido. Los genes son extremadamente importantes y deben ser protegidos, de manera que permanecen seguros en el núcleo en todo momento. Las células hacen copias de la información que necesitan y así el

ADN original no sufre ningún daño.



Los cromosomas son como los cajones de un archivador. Cuando las células necesitan información de los archivos, abren un cajón, sacan un archivo (el gen) y hacen una copia de la información (la molécula de ARN) que puede salir al mundo (el citoplasma). La información original (el ADN) se guarda siempre bajo llave en el archivador.

Naturalmente, la ARN polimerasa y el ADN no son los únicos que intervienen en la transcripción. En los siguientes apartados hablamos de otros elementos implicados y analizamos paso por paso el proceso de transcripción.

Averiguar quién más participa

Para encontrar los genes que necesita copiar, la ARN polimerasa cuenta con la ayuda de unas proteínas llamadas *factores de transcripción*, las cuales buscan las secuencias concretas de ADN que marcan los puntos de inicio de los genes; estas secuencias se llaman *promotores*.

Los factores de transcripción encuentran los genes de las proteínas que la célula necesita sintetizar y se unen a los promotores para que la ARN polimerasa pueda copiar el gen.

Muchos promotores contienen una secuencia determinada llamada secuencia TATA, ya que contiene nucleótidos T y A en alternancia. Los factores de transcripción se unen a la secuencia TATA, y luego lo hace la ARN polimerasa (en el paso 1 de la figura 8-1 puedes ver un promotor de un gen junto con su secuencia TATA).

Los finales de los genes están marcados por una secuencia especial llamada terminador de la transcripción. Los *terminadores de la transcripción* pueden actuar de distintas formas, pero todos detienen la transcripción (en el paso 3 de la figura 8-1 puedes ver un terminador de la transcripción).

El proceso, paso a paso



Como puedes ver a continuación el proceso de transcripción es bastante simple:

1. La ARN polimerasa se une al promotor con la ayuda de los factores de transcripción.

Al unirse al promotor, la ARN polimerasa se coloca en el ADN orientada en la dirección correcta para copiar el gen.

2. La ARN polimerasa separa las dos cadenas de la doble hélice de ADN en una pequeña zona.

Al abrir el ADN, la ARN polimerasa puede utilizar una de las cadenas como molde para fabricar la nueva molécula de ARN (la cadena de ADN que sirve como molde se identifica como plantilla de ADN en la figura 8-1. La nueva cadena de ARN se sintetiza a partir de esa plantilla).

A medida que la ARN polimerasa avanza, la cadena de ADN se va abriendo y a la vez se va cerrando por detrás.

3. La ARN polimerasa sigue las reglas de emparejamiento de bases para sintetizar una cadena de ARN que es complementaria al ADN de la cadena que sirve de molde.

Como las reglas de emparejamiento de bases son precisas, la nueva molécula de ARN contiene una imagen especular del código que hay en el ADN.

4. La ARN polimerasa llega a la secuencia terminadora y libera el ADN.

Algunos terminadores tienen una secuencia que hace que el nuevo ARN se pliegue sobre sí mismo al final, creando un pequeño bulto que hace que la ARN polimerasa se suelte del ADN.



Las células utilizan la transcripción para sintetizar varios tipos de moléculas de ARN. Algunas de estas moléculas de ARN trabajan para la célula, otras forman parte de estructuras celulares y un tipo en particular (el ARNm) transporta al citoplasma el código para la síntesis de proteínas.

Maduración del ARN: el toque final

Después de que la ARN polimerasa haya transcrito uno de los genes, la molécula de ARNm creada no está del todo lista para ser traducida a una proteína. De hecho, el ARNm recién creado se llama *ARNm precursor* o *transcrito primario* porque no está del todo terminado.



Antes de que pueda traducirse, el ARNm precursor debe experimentar algunas modificaciones (en la figura 8-1 son los pasos 5 y 6):

- ✓ **En el punto de inicio del ARNm se añade el casquete 5', un casquete protector.** El *casquete 5'* (puedes verlo en el paso 5 de la figura 8-1) le dice a la célula que debe traducir ese trozo de ARN.
- ✓ **En el punto final del ARNm se añade la cola poli-A, una secuencia adicional.** Como su propio nombre da a entender, la *cola poli-A* (en el paso 5 de la figura 8-1) es una cadena de nucleótidos que contienen adenina (A). Esa cola evita que el ARNm acabado se degrade en el interior de la célula.
- ✓ **Se eliminan los intrones (secuencias no codificantes) del ARNm.** Una cosa curiosa de los genes es que el código de las proteínas está interrumpido por unas secuencias internas llamadas *intrones*. Antes de enviar el ARNm al citoplasma (el paso 6 de la figura 8-1), las células eliminan los intrones. Las secciones de ARNm precursor que van a traducirse se llaman *exones*. Cuando las células retiran los intrones del ARNm precursor, los exones se unen para obtener ARNm traducible a

partir del cual sintetizar la proteína.



Si no te aclaras con lo que hacen los intrones y los exones, simplemente recuerda que los *intrones* interrumpen y los *exones* son los que salen al exterior del núcleo.

Traducción: conversión del código

al idioma adecuado

Cuando el ARNm sale del núcleo de la célula al citoplasma, se dirige a un ribosoma, donde el código que contiene puede traducirse para sintetizar una proteína (en el capítulo 4 encontrarás más información sobre los ribosomas). Cuando la cadena de ARNm pasa a través del ribosoma, el código de los nucleótidos se lee de tres en tres unidades.



Un grupo de tres nucleótidos del ARNm se llama *codón*. Si coges los cuatro tipos de nucleótidos del ARN (A, G, C y U) y haces todas las combinaciones posibles de tres letras, te salen 64 codones. Cada codón codifica un aminoácido de la cadena polipeptídica de una proteína.

Para saber cuál es el aminoácido representado por un codón en concreto, puedes utilizar la tabla representada en la figura 8-2. Por ejemplo, si quieres saber qué representa el codón CGU:

- 1. Mira primero en la parte izquierda de la tabla y busca la fila indicada por la primera letra del codón.**

La letra C es la segunda empezando por arriba, de modo que el aminoácido representado por la C del codón CGU se encuentra en la segunda fila de la tabla.

- 2. A continuación mira en la parte superior de la tabla y busca la columna indicada por la segunda letra del codón.**

La letra G es la última de la cabecera, de modo que el aminoácido representado por la G del codón CGU se encuentra en la intersección de la segunda fila (indicada por la C) y la última columna que hay bajo la cabecera Segunda letra.

3. Mira en la parte derecha de la tabla y busca la fila indicada por la tercera letra del codón.

La letra U es la primera, de modo que el aminoácido representado por la U del codón CGU es el primero de los que aparecen relacionados en la intersección de la segunda fila y la última columna que hay bajo la cabecera Segunda letra. Si lo juntas todo, ves que el aminoácido representado por el codón CGU es la arginina.

Primera letra ▼	Segunda letra				Tercera letra ▼
	U	C	A	G	
U	fenilalanina	serina	tirosina	cisteína	U
	fenilalanina	serina	tirosina	cisteína	C
	leucina	serina	FIN	FIN	A
	leucina	serina	FIN	triptófano	G
C	leucina	prolina	histidina	arginina	U
	leucina	prolina	histidina	arginina	C
	leucina	prolina	glutamina	arginina	A
	leucina	prolina	glutamina	arginina	G
A	isoleucina	treonina	asparragina	serina	U
	isoleucina	treonina	asparragina	serina	C
	isoleucina	treonina	lisina	arginina	A
	metionina e INICIO	treonina	lisina	arginina	G
G	valina	alanina	ácido aspártico	glicina	U
	valina	alanina	ácido aspártico	glicina	C
	valina	alanina	ácido aspártico	glicina	A
	valina	alanina	ácido aspártico	glicina	G

Figura 8-2:

El código genético: correlación entre secuencias del ARNm y los aminoácidos.



Para traducir una molécula de ARNm, empieza por el codón iniciador más cercano al extremo 5' (o casquete 5') del ARNm, divide el mensaje en codones y busca los codones en una tabla del código genético donde se muestren los nombres de los 20 aminoácidos diferentes que se

encuentran en las proteínas de los seres vivos. Por ejemplo, 5'CCGCAUGCGAAAAUGA3' se traduce como metionina-arginina-lisina.

En los siguientes apartados hablamos sobre codones especializados y sobre los anticodones con los que deben emparejarse todos los codones para que la traducción pueda llevarse a cabo, y además explicamos el proceso de traducción paso por paso.

Codones y anticodones

El código genético es igual para todos los organismos que hay en la Tierra, desde una persona hasta cualquier bacteria. Para leerlo, debes conocer las características singulares de algunos codones:

- ✓ **El codón AUG se llama codón iniciador.** AUG se llama *codón iniciador* porque marca el comienzo de la traducción. Cuando una de las células empieza a traducir ARNm a un polipéptido, el AUG más próximo al extremo 5' del ARNm es el primer codón que se lee. AUG también codifica el aminoácido metionina, de manera que la metionina es el primer aminoácido que se añade a la cadena polipeptídica.
- ✓ **Los codones UAA, UAG y UGA se llaman codones finalizadores.** La traducción concluye cuando se lee un codón finalizador en el ARNm. Un *codón finalizador* únicamente indica cuándo debe terminar la traducción; no codifica un aminoácido. Cuando se lee un codón finalizador en el ARNm, la traducción termina y ya no se añaden más aminoácidos a la cadena polipeptídica.
- ✓ **Algunos aminoácidos están codificados por más de un codón.** Este es el caso, por ejemplo, de la arginina, que lo producen los codones CGU, CGC, CGA y CGG. Por eso se dice que el código genético es *redundante* (hay varios codones para un mismo aminoácido).

Para que las células decodifiquen el ARNm, necesitan la ayuda de un colaborador importante: el ARN de transferencia (ARNt). El *ARN de transferencia* decodifica el mensaje del ARNm. Igual que todas las moléculas de ARN, el ARNt se compone de nucleótidos que pueden emparejarse con otros nucleótidos siguiendo con las reglas de emparejamiento de bases.

Durante la traducción, las moléculas de ARNt se emparejan con los codones del ARNm para determinar qué aminoácido debe añadirse a la cadena. Cada ARNt tiene un grupo especial de tres nucleótidos, llamado *anticodón*, que se empareja con los codones del ARNm. Cada ARNt transporta además un aminoácido específico. Por lo tanto, el ARNt, que tiene el anticodón adecuado para emparejarse con un codón concreto, añade su aminoácido a la cadena polipeptídica que se está formando.



Como el emparejamiento de un anticodón y su codón es biunívoco, únicamente un ARNt puede emparejarse con cada codón. La relación específica entre los anticodones del ARNt y los codones del ARNm garantiza que cada codón codifique siempre un aminoácido en concreto.

Pasos del proceso de traducción

Aunque el proceso de traducción es complejo, resulta muy sencillo de entender si se divide en sus tres etapas principales: *iniciación*, *elongación* y *terminación*. La figura 8-3 ilustra estas tres etapas, que describimos a continuación:

- 1. Durante la iniciación, el ribosoma y el primer ARNt se acoplan al ARNm (paso 1 en la figura 8-3).**

La subunidad menor del ribosoma se une al ARNm. A continuación, el primer ARNt (que transporta el aminoácido metionina) se acopla al codón iniciador. El codón iniciador es AUG, así que el primer ARNt tiene el anticodón UAC (paso 2 en la figura 8-3). Después de que el primer ARNt se una al ARNm, la subunidad mayor del ribosoma se acopla para formar un ribosoma completo.

- 2. Durante la elongación, los ARNt entran en el ribosoma y entregan sus aminoácidos a la cadena polipeptídica que se está formando.**

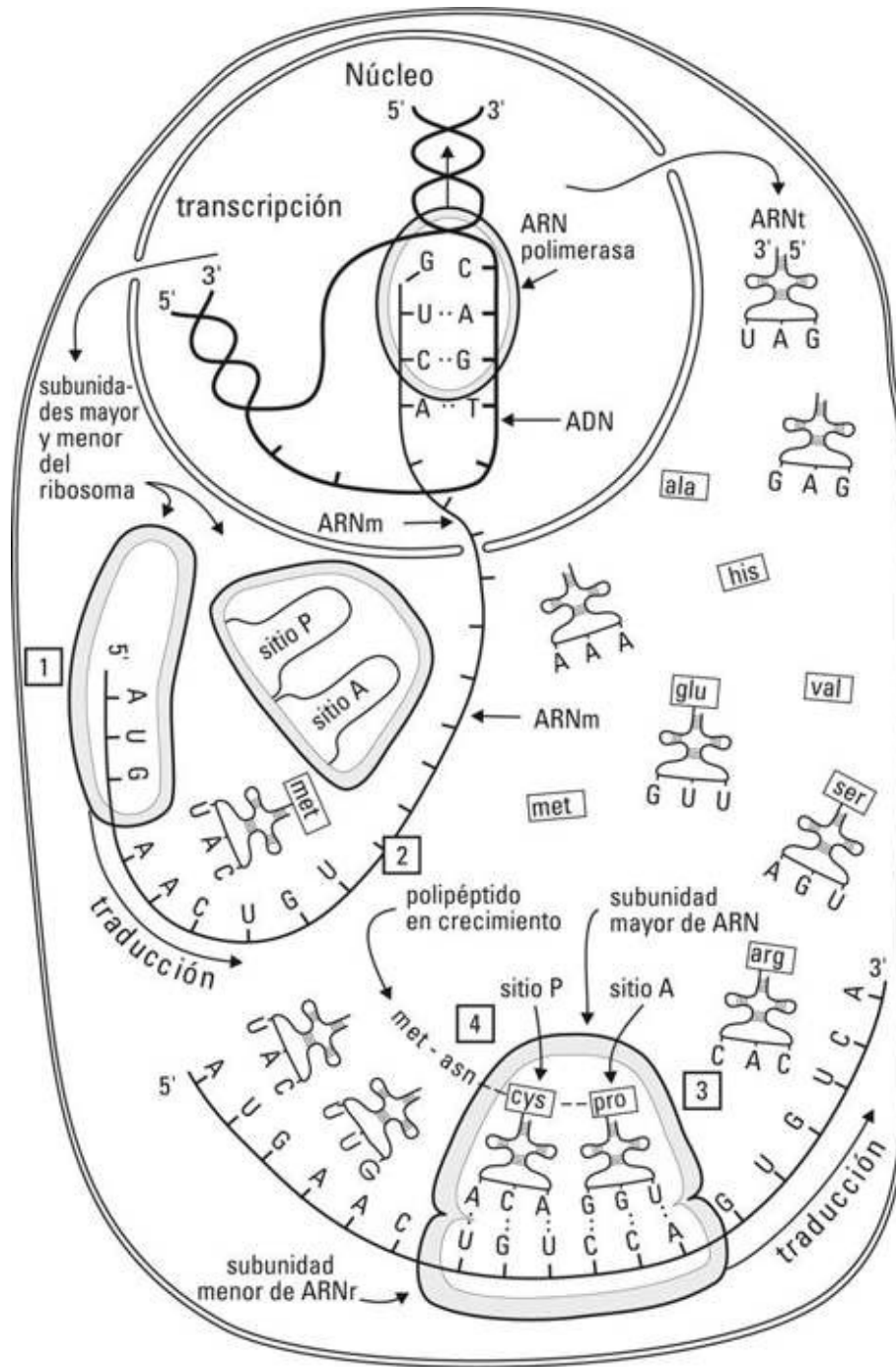
Cada ARNt entra en un lugar del ribosoma llamado *sitio A* (paso 3 en la figura 8-3). En una ubicación adyacente llamada *sitio P* se encuentra un ARNt con la cadena polipeptídica creciente (paso 4 en la figura 8-3).

Cuando hay un ARNt acoplado en el sitio A y en el sitio P, el ribosoma cataliza la formación de un *enlace peptídico* entre la cadena polipeptídica creciente y el nuevo aminoácido. En la figura 8-3 puedes ver que está formándose un enlace entre los aminoácidos cisteína (cys) y prolina (pro) porque están uno junto al otro en el ribosoma.

Después de añadirse el nuevo aminoácido a la cadena creciente, el ribosoma baja por el ARNm y un nuevo codón ocupa el sitio A. Cuando hay otro codón en el sitio A, en el ribosoma puede entrar otro ARNt para que el proceso de elongación prosiga.

3. Durante la terminación, un codón finalizador en el sitio A pone fin a la traducción.

El ribosoma baja por el ARNm hasta que un codón finalizador entra en el sitio A. Cuando esto ocurre, una enzima llamada *factor de liberación* entra en el ribosoma y libera la cadena polipeptídica. La traducción se detiene y el ribosoma se separa del ARNm.



Síntesis de proteínas

Figura 8-3:
Traducción del ARNm a una proteína.

Después de la traducción, las cadenas polipeptídicas pueden sufrir alguna

pequeña modificación antes de plegarse y convertirse en proteínas funcionales. Generalmente la proteína completa se forma por la combinación de varias cadenas polipeptídicas.

Frenesí celular: cáncer y envejecimiento

El *cáncer*, una enfermedad causada por una división celular incontrolada, es mucho más frecuente en personas de edad avanzada. La realidad es que cuanto más tiempo vives, más posibilidades tienes de contraer un cáncer. ¿Por qué? Porque a lo largo de la vida pueden ocurrir minúsculos cambios genéticos que pasan inadvertidos, como una pequeña mutación causada por una exposición a rayos X o por respirar aire contaminado. Algunas mutaciones se reparan y otras existen sin que tengan efecto alguno. Una mutación aislada puede resultar inofensiva, pero cuando los cambios genéticos se acumulan con el paso del tiempo, aumenta la probabilidad de que se produzca alguna mutación que altere las proteínas que controlan la división celular.

Si las proteínas no desempeñan su función correctamente, pueden entrar en un ciclo de división y crecimiento sin control, en cuyo caso se forma una masa de células llamada *tumor*. Si con el tiempo se acumulan todavía más mutaciones en las células, sus características cambian y el tumor puede volverse *maligno* (es más probable que se extienda y cause la muerte). La propagación de células cancerosas por el cuerpo tiene lugar por medio de la *metástasis*, cuando las células malignas abandonan su tejido original y entran en el sistema circulatorio o linfático.

Puede parecer alarmante la cantidad de personas que padecen un cáncer a lo largo de su vida, pero un estilo de vida saludable (evitar las grasas saturadas, no fumar, no engordar demasiado) contribuye a reducir el riesgo.

Nada es perfecto: consecuencias de las mutaciones

Si un error en una cadena de ADN no se detecta o no se repara, acaba convirtiéndose en una mutación. Una *mutación* es una alteración respecto de la cadena de ADN original, o dicho de otro modo: los nucleótidos no están en el orden que deberían.



Las mutaciones en el ADN provocan cambios en el ARN, que a su

vez pueden causar cambios en las proteínas. Cuando las proteínas cambian, puede que también cambien las funciones de las células y los rasgos de los organismos.

Las mutaciones generalmente ocurren cuando el ADN se copia durante su multiplicación (en el capítulo 6 se describe el proceso de multiplicación del ADN). Existen dos grandes tipos de mutaciones:

- ✓ **Mutaciones espontáneas.** Son el resultado de errores no corregidos de la *ADN polimerasa*, la enzima que copia el ADN. La ADN polimerasa es una enzima muy concienzuda, pero no es perfecta. En general, la ADN polimerasa comete un error por cada mil millones de pares de bases de ADN que copia. Esta tasa de errores no está nada mal... a menos que estés hablando de tu propio ADN. En ese caso, cualquier mínimo cambio puede causar problemas a la larga. El cáncer, por ejemplo, generalmente ocurre cuando las personas envejecen porque han vivido suficiente tiempo como para acumular mutaciones en ciertos genes que controlan la división celular.
- ✓ **Mutaciones inducidas.** Son el resultado de agentes ambientales que aumentan la tasa de errores de la ADN polimerasa. Cualquier cosa que aumente la tasa de errores de la ADN polimerasa es un *mutágeno*. Los mutágenos más comunes son determinados productos químicos (por ejemplo el formaldehído y varios compuestos presentes en el humo del tabaco) y la radiación (como la luz ultravioleta y los rayos X).

Cuando se produce una mutación durante la multiplicación del ADN, algunas células hijas formadas por mitosis o meiosis heredan la alteración genética (en el capítulo 6 explicamos cómo se dividen las células). Los tipos de mutaciones que esas células heredan pueden dividirse en tres grandes categorías:

- ✓ **Sustituciones de bases.** Cuando los nucleótidos se emparejan de manera incorrecta en el ADN progenitor, tiene lugar una *sustitución de bases*. Si en la molécula de ADN progenitor hay un nucleótido que contiene timina (T), la ADN polimerasa debe añadir a la nueva cadena de ADN un nucleótido que contenga adenina (A). Sin embargo, si la ADN

polimerasa comete un error y añade un nucleótido con guanina (G), ahí se produce la sustitución de la base. Como solo se ha cambiado un nucleótido, la mutación se llama *mutación puntual*. El efecto de las mutaciones puntuales puede ser nulo o grave.

- Las *mutaciones silenciosas* no tienen efectos en la proteína ni en el organismo. Como el código genético es redundante, las alteraciones del ADN pueden causar cambios en el ARNm que no provoquen cambios en la proteína (en el apartado anterior “Codones y anticodones” hablamos sobre la redundancia del código genético).
 - Las *mutaciones de aminoácidos* cambian los aminoácidos de la proteína. Las alteraciones del ADN pueden cambiar los codones del ARNm, lo cual conduce a que se añadan aminoácidos diferentes en una cadena polipeptídica. La gravedad de las mutaciones de aminoácidos depende de la diferencia entre el aminoácido original y el nuevo aminoácido y del lugar de la proteína donde tenga lugar.
 - Las *mutaciones finalizadoras* introducen un codón finalizador en el ARNm, lo que impide que la proteína se sintetice. Si la alteración del ADN hace que un codón del ARNm se convierta en un codón finalizador, el crecimiento de la cadena polipeptídica se trunca. Las mutaciones finalizadoras generalmente tienen efectos graves y son la causa de numerosas enfermedades genéticas, entre ellas ciertas formas de fibrosis quística, distrofia muscular de Duchenne y talasemia (un tipo de anemia hereditaria).
- ✓ **Supresiones.** Cuando la ADN polimerasa no copia todo el ADN de la cadena progenitora, tiene lugar una *supresión*. Si se leen los nucleótidos del ADN progenitor pero no se insertan todas las bases complementarias, a la nueva cadena de ADN le faltan nucleótidos. Si se suprimen uno o dos nucleótidos, los codones del ARNm no estarán alineados con sus tripletes y la cadena polipeptídica resultante quedará muy alterada. Las mutaciones que alteran la lectura de los codones se llaman *mutaciones por desplazamiento de marco*. La supresión de tres nucleótidos da lugar a la supresión de un aminoácido. Enfermedades graves como la fibrosis quística y la distrofia muscular de Duchenne

están relacionadas con supresiones.

- ✓ **Inserciones.** Cuando la ADN polimerasa copia más de una vez algunos nucleótidos del ADN progenitor, tiene lugar una *inserción*. Igual que ocurre con las supresiones, las inserciones de uno o dos nucleótidos pueden causar mutaciones por desplazamiento de marco que alteran mucho la cadena polipeptídica. La *corea de Huntington*, una enfermedad que causa la degeneración progresiva del sistema nervioso en la edad adulta, se debe a la inserción de la secuencia CAG en un gen normal hasta cien veces. Aunque la secuencia es un múltiplo de tres (de manera que técnicamente no es una mutación por desplazamiento de marco), el elevado número de inserciones impide la lectura del código genético normal, lo cual altera o anula por completo la síntesis de proteínas.

Lucha por respirar

La *fibrosis quística* (FQ), una enfermedad que hace que se obstruyan los pulmones y las vías aéreas menores por la enorme abundancia de mucosidad, es la enfermedad genética más común en personas con ascendencia del norte de Europa (solo en Estados Unidos hay alrededor de 30.000 personas que padecen fibrosis quística). El moco de los pulmones dificulta la respiración y facilita el crecimiento de bacterias que causan continuas infecciones. Las personas aquejadas de FQ no suelen llegar a la edad adulta, ya que les acaban fallando los pulmones como resultado de tales infecciones. Los enfermos de FQ y sus familias luchan contra esta enfermedad sin descanso, siguiendo tratamientos para disolver el moco y combatir las infecciones, en un intento de frenar los efectos de esta enfermedad.

Todos estos padecimientos están causados por una mutación en una proteína llamada CFTR. La proteína CFTR normal se encuentra en las membranas plasmáticas de las células humanas, donde regula el paso de cloruro hacia y el medio interno y la salida de él. El tránsito del cloruro afecta al movimiento del agua, razón por la cual el moco se espesa tanto en el exterior de las células de las personas que padecen la enfermedad. La mutación más común de la proteína CFTR es la supresión de tres nucleótidos, que da como resultado la pérdida de un aminoácido. Este cambio quizá no parezca gran cosa, pero la pérdida de ese aminoácido concreto altera la cadena polipeptídica e impide que se pliegue correctamente. Otras proteínas pertenecientes al mecanismo celular de control de calidad detectan este plegamiento anormal y marcan la proteína mutada para destruirla. Así pues, en las personas que padecen la forma de FQ más común, la proteína CFTR nunca llega a la membrana plasmática.

Los científicos están buscando la manera de corregir este problema. Un avance reciente y muy prometedor es el descubrimiento de un fármaco que ayuda a las proteínas CFTR mutantes a alcanzar la membrana plasmática. En células pulmonares cultivadas en laboratorio, las proteínas CFTR mutantes lograron transportar un poco de cloruro, lo cual parece indicar que el fármaco podría reducir la gravedad de la enfermedad. Los investigadores que descubrieron este efecto están ahora trabajando para encontrar

Regulación de la expresión génica: las células también deciden

Aunque el ADN se encarga de controlar las proteínas que el cuerpo fabrica y esas proteínas son las que determinan los rasgos, las células también tienen algo que decir al respecto. Como cada célula tiene un conjunto completo de cromosomas, puede llevar a cabo la *regulación de la expresión génica*, es decir, puede elegir qué genes utilizar (o no utilizar) y cuándo.



Cuando una célula utiliza un gen para sintetizar una molécula funcional, ese gen se *expresa* en la célula. La regulación de la expresión génica es el procedimiento que utilizan las células para elegir los genes que se van a expresar en un momento determinado (cuando se refieren a este procedimiento, los científicos dicen que las células activan o desactivan los genes).

La expresión de los genes se regula mediante la acción de proteínas que se unen al ADN; entonces hacen posible el acceso de la ARN polimerasa a los genes o bien impiden dicho acceso. En las células, las proteínas que ayudan a que la ARN polimerasa se acople a los genes se llaman *factores de transcripción*. Dichos factores se unen a secuencias especiales del ADN cerca de los promotores de los genes y hacen posible que la ARN polimerasa se acople al promotor. Entonces tienen lugar los procesos de transcripción y traducción, que terminan con la síntesis de la proteína en la célula.

La regulación de la expresión génica permite a las células hacer dos cosas: adaptarse a cambios de las condiciones ambientales y diferenciarse en el organismo. En los dos siguientes apartados tratamos ambos asuntos.

Adaptarse a cambios ambientales

El mundo que te rodea está en continuo cambio, de modo que debes ser capaz de responder a las señales ambientales para mantener el equilibrio fisiológico. La regulación de la expresión génica te permite hacer justo eso. Cuando las células tienen que responder a cambios en las condiciones ambientales, activan o desactivan genes con el fin de sintetizar las proteínas necesarias para esa respuesta.

Imagina que llevas demasiado rato al sol. Para proteger la piel, las células de la punta de la nariz tienen que oscurecerse un poco, de modo que fabrican más cantidad de un pigmento cutáneo llamado melanina. La mayor exposición a la luz solar activa ciertas proteínas que se unen a los genes necesarios para la producción de melanina y ayudan a que la ARN polimerasa acceda a los genes. La ARN polimerasa lee los genes y fabrica el ARNm que contiene la información para la síntesis de las proteínas necesarias. El ARNm se traduce y las proteínas se sintetizan. Las proteínas cumplen su función y la piel de la nariz se vuelve más oscura. Este ejemplo de cómo se oscurece la piel ilustra el modo en que las células pueden acceder a los genes cuando los necesitan para responder a señales del entorno.

Convertirse en experto a través de la diferenciación

En el cuerpo tenemos más de 200 tipos de células diferentes, entre ellas células cutáneas, musculares y renales. Cada una de estas células lleva a cabo una tarea distinta en el organismo y, como cualquier buen artesano, cada tipo de célula necesita las herramientas adecuadas para realizar su trabajo. En el caso de una célula, la herramienta adecuada suele ser una proteína en particular. Por ejemplo, las células cutáneas necesitan grandes cantidades de una proteína llamada queratina, las células musculares necesitan proteínas contráctiles y las células renales necesitan proteínas transportadoras de agua.



La *diferenciación celular* es el proceso de especialización de las células para desempeñar tareas específicas.

Las células diferenciadas tienen toda la información necesaria para todas las herramientas existentes, ya que cada célula tiene un conjunto completo de cromosomas; lo que las diferencia es la información que utilizan.

Las células se diferencian unas de otras por medio de la regulación de la expresión génica. Por ejemplo, cuando un espermatozoide se unió con un óvulo para formar la célula de la que surgiste tú, esa primera célula tenía la capacidad de dividirse y formar todos los tipos de células que iba a necesitar tu cuerpo. Sin embargo, cuando esa célula y sus descendientes se dividieron, las señales hicieron que distintos grupos de células cambiaran su expresión génica. Las proteínas de esas células se unieron a las moléculas de ADN y eso hizo que se activaran algunos genes y otros quedaran en silencio. A medida que crecías y te desarrollabas en el útero de tu madre, las células fueron diferenciándose cada vez más. Algunas células pasaron a formar parte de tu tejido nervioso, mientras que otras formaron el tubo digestivo. Cada uno de esos cambios ocurrió porque las células transcribieron y tradujeron los genes de las proteínas que necesitaban para cumplir su función específica.



Después de que una célula se diferencia, generalmente no puede volver atrás. Se ha especializado para una determinada tarea y no puede acceder a los genes de proteínas que no encajan con la descripción de su función.

Citoblastos: una introducción y un dilema moral

Los *citoblastos*, también llamados células precursoras o células madre, son células que tienen el potencial de convertirse en cualquier tipo de célula. Cuando se dividen, sus descendientes pueden continuar siendo citoblastos o diferenciarse en tipos especializados. Los citoblastos también son únicos porque son inmortales: a diferencia de la mayoría de las células humanas, que mueren después de 40 o 50 divisiones, los citoblastos pueden seguir produciendo nuevas células indefinidamente. Así pues, son extremadamente importantes para el organismo, ya que ayudan a sustituir células y a reparar daños en casi cualquier tipo de tejido. Además, tienen el potencial de curar enfermedades y salvar vidas.

Durante muchos años, los citoblastos para investigación se obtenían de embriones humanos creados mediante fecundación in vitro que ya no necesitaban las personas que donaron los espermatozoides y los óvulos. Los embriones no deseados generalmente se destruyen, pero algunas personas optan por

donarlos congelados a la investigación científica. Los citoblastos embrionarios humanos son especiales porque son *pluripotentes*, es decir, tienen el potencial de convertirse en cualquier tipo de célula humana. Aunque es posible obtener citoblastos adultos de seres humanos completamente desarrollados, por regla general esos citoblastos únicamente son capaces de convertirse en un número limitado de tipos de células en función de su tejido de origen. Por ejemplo, los citoblastos hematopoyéticos procedentes de la médula ósea tienen la capacidad de dividirse y producir muchos tipos de células sanguíneas diferentes, pero no pueden producir células nerviosas.

Como los citoblastos embrionarios humanos son pluripotentes, son más valiosos para determinados tipos de investigación. Sin embargo, algunas personas consideran que destruir embriones humanos es moralmente reprobable, con independencia de la etapa de desarrollo en la que se encuentren (los embriones congelados tras la fecundación in vitro suelen tener de cinco a ocho células).

En Estados Unidos, esta convicción incluso llevó a que se prohibiera que el gobierno financiara el desarrollo de nuevas líneas de citoblastos a partir de embriones humanos. Los partidarios de la investigación con citoblastos argumentan que, en vista de los beneficios potenciales para el tratamiento de enfermedades y la posibilidad de salvar muchas vidas, se impone que los científicos prosigan las investigaciones con citoblastos embrionarios.

¿Alguna vez se resolverá este dilema moral? Una posible solución es hacer que los citoblastos adultos se comporten como si fueran citoblastos embrionarios. Un grupo de científicos ha encontrado una forma de conseguirlo, pero harán falta nuevas investigaciones para determinar si esos citoblastos pluripotentes inducidos son realmente equivalentes a los citoblastos embrionarios.

Capítulo 9

Ingeniería genética y tecnología del ADN

En este capítulo

- ▶ Descubrir cómo funciona la tecnología del ADN
 - ▶ Conocer el Proyecto Genoma Humano
 - ▶ Debatir sobre los beneficios de los organismos modificados genéticamente
-

Los experimentos con plantas de guisantes que realizó Gregor Mendel a mediados del siglo xix (sobre los que hablamos en el capítulo 7) fueron el detonante de una exploración científica sobre los misterios de la herencia biológica que continúa hoy en día. Después de que Mendel demostrara que los rasgos están determinados por factores hereditarios que se transmiten de generación en generación, los científicos se propusieron averiguar la naturaleza de esos factores y cómo se transmitían. Así, descubrieron la presencia de ADN en las células, observaron el movimiento de los cromosomas durante la división celular y llevaron a cabo experimentos que pusieron de manifiesto que el ADN es en realidad el material hereditario.

Casi cien años después de Mendel, James Watson y Francis Crick dijeron que el ADN tenía una estructura de doble hélice y formularon una hipótesis acerca del modo en que se copiaba. Los científicos descifraron el código genético y estudiaron la forma de trabajar con él en un laboratorio.

Durante los últimos cuarenta años, los científicos han desarrollado un amplio

abánico de herramientas para leer el ADN, copiarlo, cortarlo, clasificarlo y volver a juntarlo en nuevas combinaciones.

Las posibilidades que abre el trabajo con el ADN son tan grandes que los científicos incluso han logrado determinar la secuencia de genes de los cromosomas humanos como parte del Proyecto Genoma Humano. Ahora más que nunca, la herencia biológica está abierta a la exploración. El trabajo continúa intentando comprender cómo funciona cada gen humano y lo que se descubra posiblemente dé lugar a soluciones insospechadas para trastornos diversos.

En este capítulo comentamos las implicaciones del trabajo con el ADN y cómo los científicos han descrito y manipulado el genoma humano y los genomas de otras especies.

La tecnología del ADN

Durante años, la propia estructura del ADN hizo que su estudio resultara bastante complicado. Al fin y al cabo, su molécula es muy larga y muy pequeña. Por fortuna, la llegada de la *tecnología del ADN*, el conjunto de herramientas y técnicas empleadas para leer y manipular el código del ADN, ha facilitado mucho las cosas. Los científicos pueden incluso combinar ADN de distintos organismos para crear artificialmente diversos materiales, por ejemplo proteínas humanas, o para dar nuevas características a los cultivos. Asimismo, pueden comparar diferentes versiones del mismo gen para ver exactamente dónde ocurren las variaciones que causan una enfermedad.

En los siguientes apartados desglosamos los distintos aspectos de la tecnología del ADN para que veas que todos ellos se combinan y abren una ventana al propio corazón de la existencia.

Cortar ADN con enzimas de restricción

Los científicos utilizan *enzimas de restricción*, que son una especie de tijeras moleculares, para cortar el ADN en trozos más pequeños con el fin de

analizarlo y manipularlo más fácilmente. Cada enzima de restricción reconoce y puede unirse a una determinada secuencia de ADN llamada *sitio de restricción*. Las enzimas se desplazan por el ADN y cortan la hélice en el lugar donde encuentran su sitio de restricción.

La figura 9-1 muestra el modo en que una enzima de restricción realiza un corte en un fragmento de ADN circular y lo convierte en un fragmento lineal.

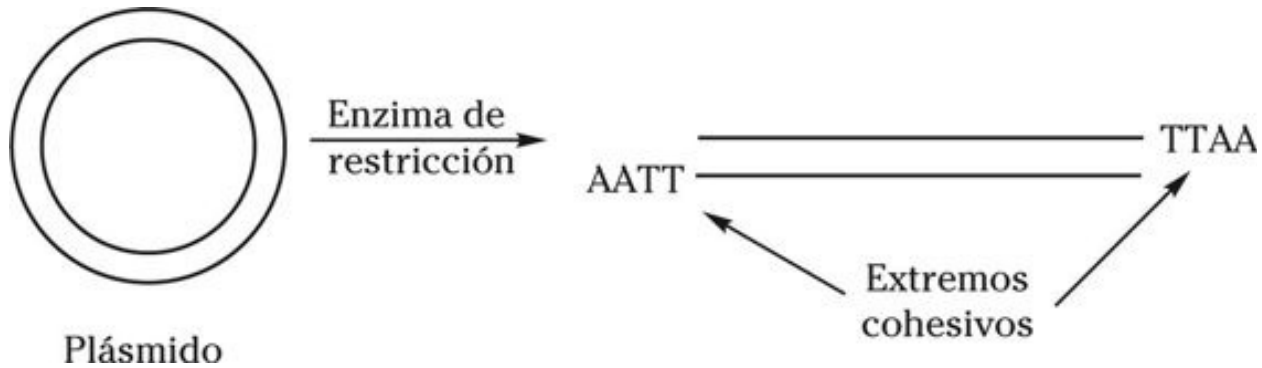


Figura 9-1:
Enzimas de restricción.

Combinar ADN de diversas procedencias

Después de cortar el ADN en trozos más pequeños y manejables (se explica en el apartado anterior), se pueden combinar fragmentos de ADN para modificar las características de una célula. Por ejemplo, es posible introducir en plantas de cultivos agrícolas un fragmento de ADN con genes que las hacen resistentes a los pesticidas o para aumentar su valor nutricional. Esta manipulación del material genético de una célula con el fin de modificar sus características se llama *ingeniería genética*.

Como el ADN de todas las células es básicamente igual, los científicos pueden incluso combinar ADN de especies distintas.



Cuando una molécula de ADN contiene ADN de más de una procedencia, se llama *ADN recombinante*.

Si una molécula de ADN recombinante que contenga genes bacterianos

y humanos se introduce en células bacterianas, las bacterias leen los genes humanos como si fueran los suyos propios y empiezan a producir proteínas humanas que los científicos pueden utilizar con fines de investigación médica y científica. En la tabla 9-1 se relacionan algunas proteínas útiles que se obtienen mediante ingeniería genética.

Tabla 9-1: Algunas proteínas beneficiosas obtenidas mediante ingeniería genética

Interferón alfa	Se utiliza para encoger tumores y tratar la hepatitis.
Interferón beta	Se utiliza para tratar la esclerosis múltiple.
Insulina humana	Se utiliza para tratar la diabetes, como alternativa más segura que la insulina porcina.
Activador tisular del plasminógeno (tPA)	Se administra a pacientes que acaban de sufrir un infarto de miocardio o un ictus para disolver el trombo causante.

Así es como se introduce un gen humano en una célula bacteriana:

- 1. En primer lugar, se elige una enzima de restricción que forme extremos cohesivos al cortar el ADN.**

Los *extremos cohesivos* (también llamados protruyentes) son fragmentos de ADN monocatenario que son complementarios de otros fragmentos de ADN monocatenario. Como son complementarios, pueden unirse entre sí formando enlaces de hidrógeno (en el capítulo 3 encontrarás más información sobre enlaces y ADN). Por ejemplo, los extremos cohesivos mostrados en la figura 9-1 tienen las secuencias 5'AATT3' y 3'TTAA5'. A y T son pares de bases complementarias, de manera que estos extremos pueden formar enlaces de hidrógeno y unirse el uno al otro.

- 2. A continuación, se corta el ADN humano y el ADN bacteriano con la misma enzima de restricción.**

Al cortar ADN bacteriano y ADN humano con la misma enzima de restricción, todos los fragmentos de ADN tienen los mismos extremos

cohesivos.

3. Luego se combina el ADN humano y el ADN bacteriano.

Como los dos tipos de ADN tienen los mismos extremos cohesivos, algunos de los fragmentos se unen.

4. Finalmente, se utiliza la enzima ADN ligasa para sellar la cadena de azúcar-fosfato del ADN bacteriano y del ADN humano.

La ADN ligasa forma enlaces covalentes entre los fragmentos de ADN, sellando los fragmentos que se están combinando.

Separar moléculas mediante

la electroforesis en gel

Es posible separar moléculas, por ejemplo ADN y proteínas, con el fin de estudiarlas. Si se quiere estudiar una sola proteína, por ejemplo, hay que separarla del resto de las proteínas de la célula. Para separar moléculas de ADN para buscar relaciones entre ADN de dos procedencias diferentes, se utiliza la *electroforesis en gel*, un método de laboratorio que segrega las moléculas en función de su tamaño y carga eléctrica.

Para ello, se introducen moléculas de ADN (observa la figura 9-2a) en *pocillos*, unos pequeños huecos practicados en una placa de una sustancia gelatinosa (en la figura 9-2b). A continuación se mete el gel en una caja (llamada cámara de electroforesis) que está llena de una solución salina amortiguadora que conduce la electricidad.

Las moléculas de ADN, que tienen carga negativa, son atraídas por el electrodo positivo de la caja de gel. Al aplicar una corriente eléctrica a la matriz de gel (paso 9-2c en la figura), el gel se convierte en una especie de pista de carreras para las moléculas de ADN, solo que, en lugar de dirigirse a la línea de meta, el ADN intenta llegar al extremo de la caja cargado positivamente.

Cuando se desactiva la corriente eléctrica, todas las moléculas de ADN se detienen en el lugar donde se encuentran. Entonces se añade un colorante, que

se adhiere al ADN y crea unas bandas (se ven en la figura 9-2d) diferenciadas de color. Cada banda representa un grupo de moléculas de ADN que tienen el mismo tamaño y se han detenido en el mismo lugar en el gel.

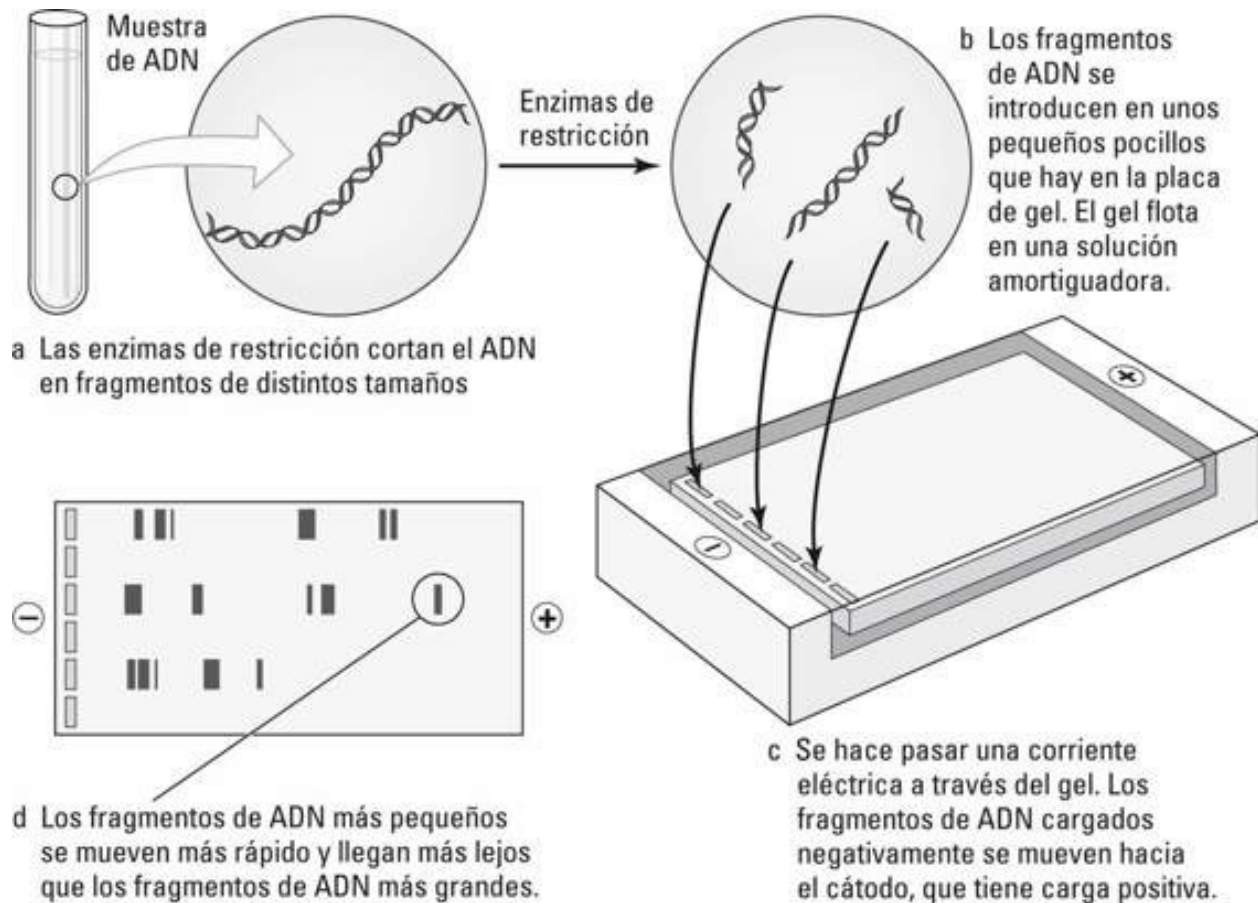


Figura 9-2:
Electroforesis en gel.

Copiar un gen mediante la RCP

La *reacción en cadena de la polimerasa* (RCP) es un proceso capaz de crear más de mil millones de copias de un gen en tan solo unas pocas horas. Esta técnica permite amplificar una secuencia de ADN cuando se quiere obtener algo mediante ingeniería genética (en el apartado anterior “Combinar ADN de diversas procedencias” hablamos sobre la ingeniería genética).



Para delimitar el gen que va a copiarse, en la RCP se utilizan *cebadores*, secuencias de ADN monocatenario que son complementarias de secuencias adyacentes a dicho gen.

Para iniciar la RCP, la muestra de ADN que contiene el gen que va a copiarse se combina con miles de copias de cebadores que delimitan el gen por ambos lados (fíjate en la figura 9-3). La ADN polimerasa utiliza los cebadores para iniciar la multiplicación del ADN y copiar el gen (en el capítulo 6 encontrarás más información sobre la multiplicación del ADN).

Los pasos básicos de la RCP se repiten una y otra vez hasta obtener miles de millones de copias de la secuencia de ADN comprendida entre los dos cebadores.

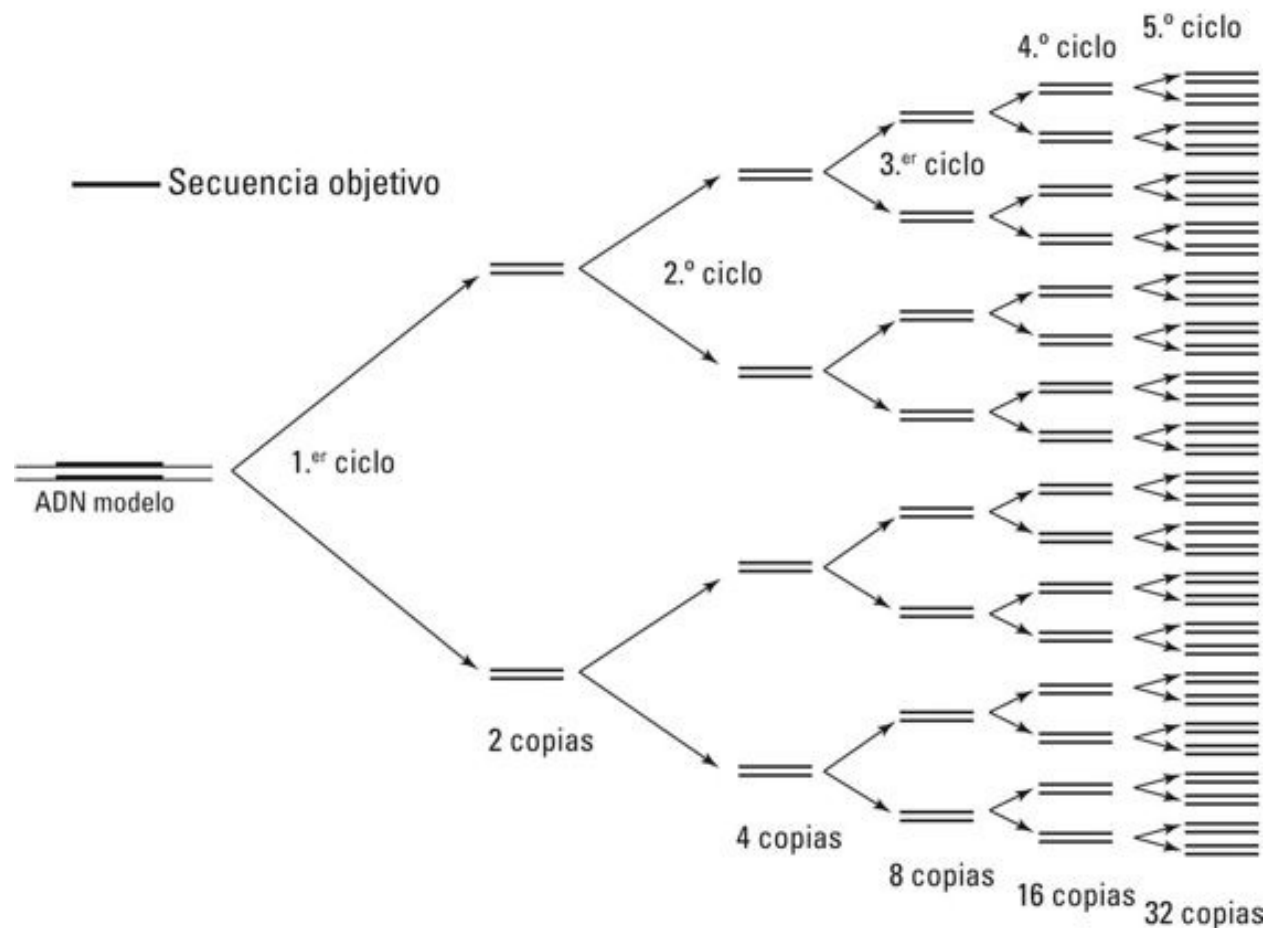
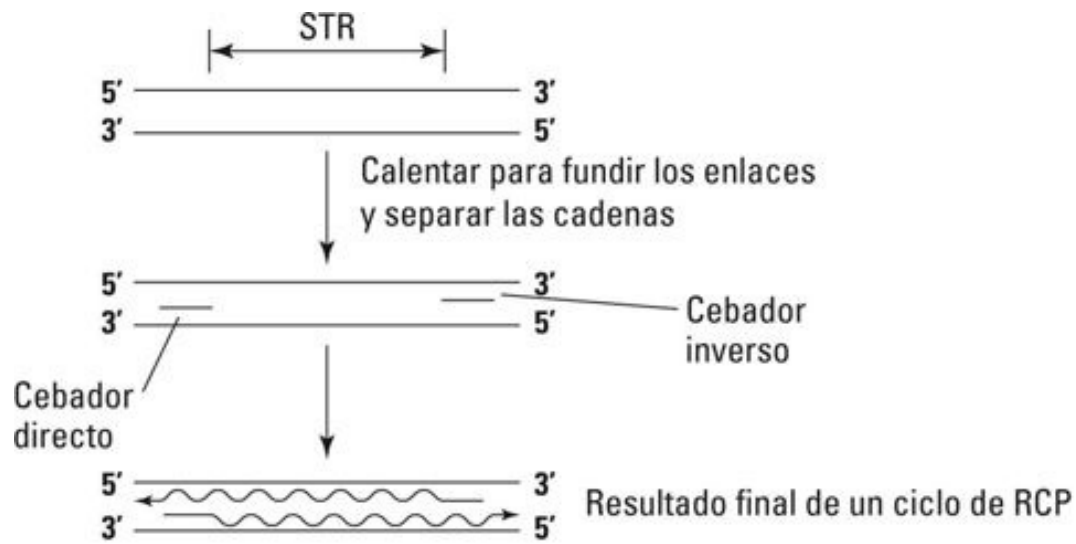


Figura 9-3:
Reacción en cadena de la polimerasa (RCP).



La RCP se parece un poco a las cadenas de mensajes de correo electrónico. Si te llega un mensaje y lo envías a dos amigos, estos a su vez lo envían a dos de sus amigos, y así sucesivamente, en poco tiempo todo el mundo ha visto el mismo mensaje. En la RCP, primero se copia un fragmento de ADN, luego se copian las copias, y así sucesivamente hasta obtener 30.000 millones de copias en cuestión de horas.

Leer un gen mediante la secuenciación del ADN



La *secuenciación del ADN*, que determina el orden de los nucleótidos en una cadena de ADN, permite leer el código genético para estudiar las versiones normales de genes. Asimismo, permite realizar comparaciones entre versiones normales de un gen y versiones que causan enfermedades. Cuando se tiene la secuencia de los nucleótidos en ambas versiones, se pueden identificar cuáles son las alteraciones del gen que causan la enfermedad.

Como puedes ver en la figura 9-4, la secuenciación del ADN utiliza un tipo especial de nucleótido llamado ddNTP (abreviatura de didesoxirribonucleótido trifosfato). Los nucleótidos del ADN y los ddNTP se parecen un poco, pero son lo bastante diferentes como para que los ddNTP detengan la multiplicación del ADN. Cuando se añade un ddNTP a una cadena de ADN que está creciendo, la ADN polimerasa ya no puede añadir más nucleótidos. La secuenciación del ADN utiliza esta interrupción para determinar el orden de los nucleótidos en una cadena de ADN.

En la actualidad casi siempre se utiliza la técnica de *secuenciación cíclica*, mediante la cual se crean copias parciales de una secuencia de ADN que se detienen en puntos diferentes.

Después de hacer las copias parciales, los científicos las cargan en una

máquina que las ordena por tamaño mediante la electroforesis en gel. A medida que las secuencias parciales van pasando por la máquina, un láser lee una etiqueta fluorescente de cada ddNTP y toma nota de la secuencia de ADN.



Aunque la secuenciación cíclica y la RCP copian ADN, los dos procesos son bastante diferentes. La secuenciación cíclica utiliza tanto nucleótidos de ADN normales como ddNTP y realiza copias parciales de ADN que son ligeramente diferentes entre sí. La RCP utiliza exclusivamente nucleótidos normales y realiza copias exactas de una secuencia de ADN.

Cartografiar los genes de la humanidad

El *Proyecto Genoma Humano* (PGH) fue un esfuerzo internacional que se marcó como objetivo descifrar la secuencia de nucleótidos de todo el ADN humano. Para que te hagas una idea de lo tremendamente ambicioso que fue este proyecto, cuando se propuso en 1985, la velocidad de secuenciación del ADN era tan baja que los científicos habrían tardado mil años en secuenciar los 24 cromosomas humanos (22 autosomas más los cromosomas X e Y, como ya explicamos en el capítulo 6; no hacía falta secuenciar los dos cromosomas de cada pareja). Por fortuna, los científicos colaboraron entre ellos y además la tecnología mejoró durante el proyecto, de manera que en el año 2003 ya se había logrado secuenciar la mayor parte del genoma humano (el *genoma* de una especie es su conjunto de genes).

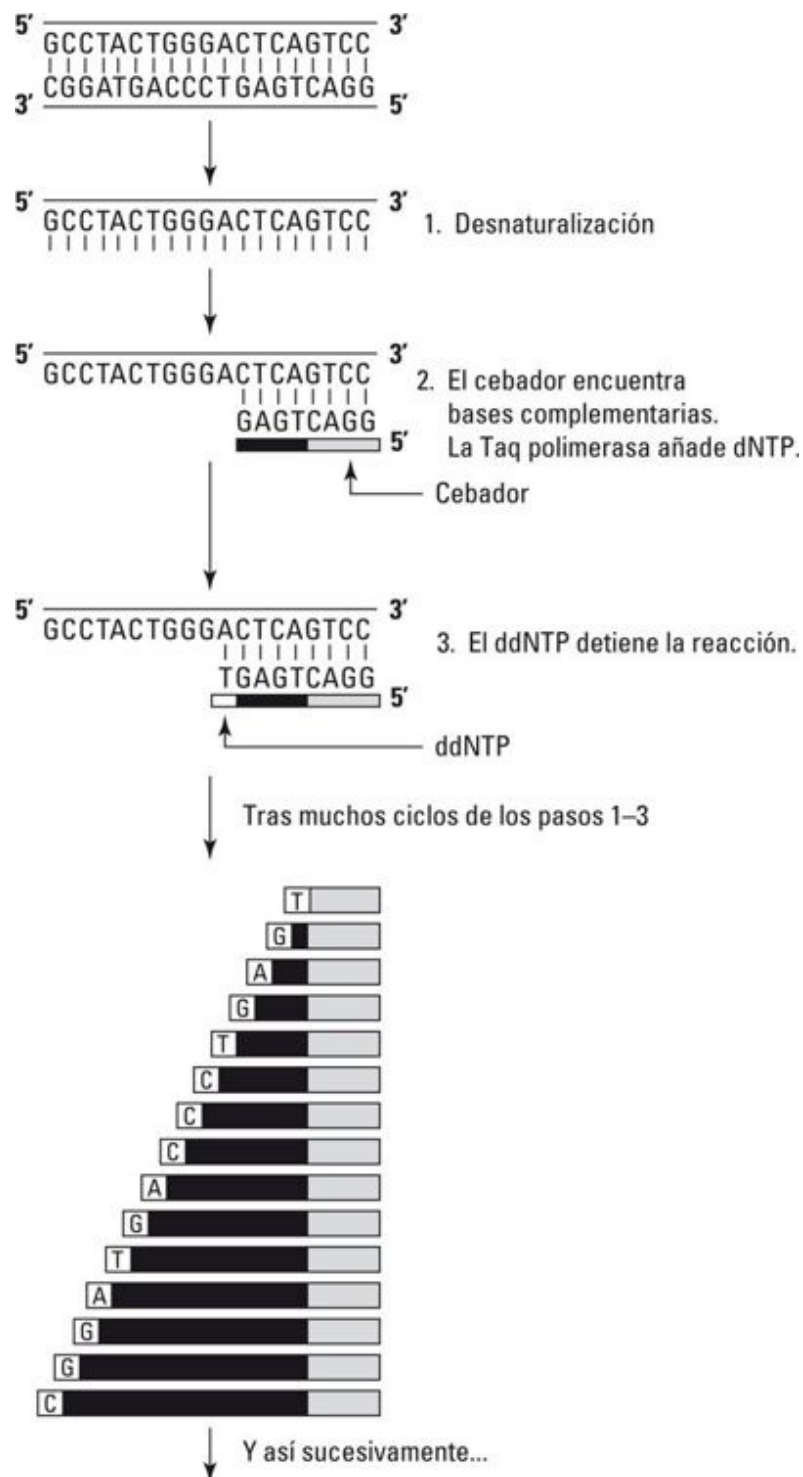


Figura 9-4:
Secuenciación del ADN.



Si te estás preguntando por qué el PGH es tan importante, reflexiona sobre lo siguiente. Si fueras un investigador y quisieras estudiar un gen humano en particular, primero tendrías que saber en qué cromosoma se encuentra. El mapa de secuencias de nucleótidos creado por el PGH supone un gran paso adelante, ya que permite conocer la localización de

¿Diseñadores?

A medida que los científicos profundizan en los misterios del genoma humano, surgen temores y discusiones sobre cuestiones relacionadas con la naturaleza de la humanidad y los derechos de las personas. La gente se plantea muchas preguntas, entre ellas las siguientes:

Si es posible leer el genoma de una persona, ¿habría que informar a las compañías aseguradoras o a los empresarios sobre el riesgo de cada uno de contraer una enfermedad?

¿Debería permitirse que la gente analizara sus embriones para evitar el nacimiento de niños enfermos o para seleccionar únicamente los que reúnan determinadas características?

¿Debería permitirse tener hijos exclusivamente a las personas que tengan un *buen* material genético?

Estas preguntas quizá te parezcan rebuscadas, pero la historia demuestra que no lo son. Después de que el trabajo de Gregor Mendel se diera a conocer y la gente comprendiera que los genes determinan los rasgos humanos, un grupo de personas fundaron el movimiento de la eugenesia. Los defensores de la eugenesia consideraron que ciertas características humanas eran más deseables que otras; querían controlar la reproducción humana para *perfeccionar* la especie. Estas ideas fueron llevadas al extremo por los nazis durante la segunda guerra mundial, lo que condujo al exterminio de colectivos enteros que se consideraron indeseables.

Muchas personas temen que el mayor conocimiento sobre el genoma humano vuelva a utilizarse para hacer daño. La realidad es que el conocimiento trae consigo poder y el poder puede utilizarse para el bien o para el mal. Los científicos persiguen el conocimiento, pero no siempre pueden controlar cómo se utiliza ese conocimiento. Lo que sí pueden hacer, sin embargo, es participar en el debate en torno a estas cuestiones éticas tan complejas. De hecho, uno de los principales objetivos del Proyecto Genoma Humano fue “examinar las implicaciones éticas, legales y sociales que pueda suscitar el proyecto”. El hecho de que esta declaración formara parte de los objetivos principales del proyecto reviste gran importancia, ya que las propuestas científicas, por regla general, se refieren exclusivamente a la ciencia.

todos y cada uno de los genes humanos. Al tener un mapa con la ubicación de todos los genes, los investigadores pueden centrar su atención en dar un buen

uso a esa información, por ejemplo en buscar los genes que causan una enfermedad.

El PGH y los avances tecnológicos que trajo consigo abrieron la puerta a otros beneficios para la sociedad, que podrán lograrse a medida que avance la investigación. Entre otros:

- ✓ Fármacos para tratar a una persona en particular con la máxima eficacia y con menos efectos secundarios que los actuales.
- ✓ Detección más temprana de enfermedades.
- ✓ Uso de microorganismos, sobre todo bacterias, para producir nuevos biocombustibles o para limpiar contaminantes.
- ✓ Métodos más precisos de identificación de personas y su aplicación a la criminología.
- ✓ Estudio de las relaciones evolutivas de los seres vivos en la Tierra.

Organismos modificados genéticamente

Los *organismos genéticamente modificados* (abreviados como OGM, y a veces llamados *organismos genotecnológicos* o *transgénicos*) contienen genes de otra especie que se introdujeron utilizando la técnica del ADN recombinante (encontrarás más información sobre ella en el apartado anterior “Combinar ADN de diversas procedencias”). Los OGM son un tema candente debido a la controversia en torno a la manipulación del material genético de plantas y animales destinados al consumo humano. En los apartados siguientes comentaremos los argumentos a favor y en contra de los OGM.

Por qué los OGM son beneficiosos

La modificación genética tiene sus cosas buenas. Además de facilitar la producción agrícola y aumentar su rentabilidad, podría incluso contribuir a mejorar la salud humana. Los casos siguientes ilustran posibles ventajas proporcionadas por los OGM:

- ✓ **Si se introducen genes en los cultivos para hacerlos resistentes a los herbicidas y pesticidas, el agricultor puede rociar los campos con esos productos químicos y matar tan solo las malas hierbas y las plagas, no las plantas cultivadas.** Esto es mucho más sencillo y lleva menos tiempo que arrancar las malas hierbas. Además, aumenta el rendimiento de los campos y los beneficios para el agricultor.
- ✓ **Si se introducen genes en cultivos o animales de granja destinados al consumo humano para que sean más nutritivos, la salud de la gente podría mejorar.** Un valor nutricional mayor de los cultivos supondría un enorme beneficio en países pobres donde la malnutrición afecta al crecimiento y desarrollo de los niños, haciéndolos más proclives a enfermedades. Uno de los ejemplos más famosos de mejora nutricional a través de la ingeniería genética es la creación de arroz dorado, una variedad de arroz genéticamente modificado para que incorpore más cantidad de una molécula necesaria para producir vitamina A. Según la Organización Mundial de la Salud, la falta de vitamina A es la causa de que entre 250.000 y 500.000 niños se queden ciegos todos los años. La empresa que produjo el arroz dorado lo está regalando a países pobres para que puedan cultivarlo ellos mismos y distribuirlo entre las personas que lo necesiten.
- ✓ **Si se introducen genes en los animales de granja destinados al consumo humano con el fin de aumentar la producción de carne, huevos y leche, habrá más comida para la creciente población humana, y ese aumento de la producción también supondrá un beneficio mayor para los granjeros.** Actualmente se administra hormona del crecimiento bovino recombinada (rBGH) a muchas vacas lecheras para aumentar la producción de leche. La BGH es la hormona del crecimiento que tienen las vacas de forma natural; la rBGH es una versión ligeramente distinta producida por bacterias genéticamente modificadas. Cuando se administra rBGH a una vaca, su producción diaria de leche aumenta entre el 10 y el 15 por ciento.

Por qué los OGM son motivo de preocupación

La controversia en torno a los OGM se debe a reservas de carácter ético. La lista de preocupaciones sobre la modificación genética es larga y tan importante que algunos países de la Unión Europea han prohibido la venta de alimentos que contengan productos procedentes de OGM, a menos que conste claramente en la etiqueta. Las reservas expresadas incluyen las siguientes:

- ✓ **El empleo de OGM en la agricultura beneficia injustamente a las grandes empresas agrícolas en detrimento de los pequeños agricultores.** Las empresas que producen semillas para el cultivo de plantas modificadas genéticamente conservan las patentes de sus productos. Esas semillas pueden tener un precio mucho más alto que el de las semillas tradicionales, lo cual proporciona una ventaja comercial a las grandes empresas agrícolas. Esta cuestión resulta especialmente preocupante cuando, en un mundo globalizado, las grandes compañías agrícolas de naciones ricas empiezan a competir con pequeños agricultores de países pobres.
- ✓ **El empleo de OGM en agricultura favorece políticas inadecuadas en materia de medio ambiente y va en contra de mejores prácticas agrícolas.** Los agricultores que cultivan plantas genéticamente modificadas para resistir la acción de pesticidas o herbicidas utilizan productos químicos en lugar de trabajo manual para controlar las malas hierbas y las plagas. Esos pesticidas y herbicidas afectan a la salud de las plantas y los animales que viven en la proximidad de los campos de cultivo y, además, pueden introducirse en el agua potable y afectar a las personas. Asimismo, el cultivo a gran escala de solo unas pocas especies de plantas disminuye la diversidad genética en las especies; eso pone en peligro el abastecimiento de alimentos si se diera una catástrofe a gran escala y la especie promocionada fracasara.
- ✓ **Los animales genéticamente modificados para producir más leche, huevos o carne podrían presentar un riesgo mayor de sufrir problemas de salud.** Las vacas tratadas con rBGH para aumentar la producción de leche sufren más infecciones en los conductos mamarios y necesitan tomar antibióticos más a menudo. El abuso de los antibióticos es motivo de preocupación para la salud humana porque

reduce la eficacia de esos mismos fármacos contra las bacterias causantes de infecciones.

- ✓ **La polinización cruzada entre plantas genéticamente modificadas y plantas silvestres puede transmitir genes resistentes a las plantas silvestres.** Los agricultores pueden levantar vallas, pero el viento no encuentra barreras. Si una planta dotada de un gen que aumenta la resistencia a los herbicidas poliniza una planta silvestre, esta adquiere los rasgos de la planta modificada; de ese modo pueden originarse malas hierbas imposibles de controlar.
- ✓ **La mayor cantidad de hormonas bovinas en los productos lácteos podría tener efectos sobre las personas que tomen esos productos.** Cuando se inyecta rBGH a las vacas para que produzcan más leche, aumenta la concentración de IGF-1 (una proteína similar a la insulina) en sus organismos y la leche. El cuerpo humano también fabrica IGF-1, y se ha visto una concentración elevada de esta hormona en personas que padecen determinados tipos de cáncer. Hay gente preocupada porque la concentración elevada de IGF-1 en la leche procedente de vacas hormonadas pueda aumentar el riesgo de cáncer, pero por el momento no se ha encontrado un vínculo claro entre la presencia de IGF-1 en la leche y la incidencia de cáncer en seres humanos.
- ✓ **La modificación genética de alimentos podría introducir alérgenos y el etiquetado podría no aportar suficiente información para proteger a los consumidores.** Las personas con alergias alimentarias deben tener mucho cuidado con lo que comen. Sin embargo, si los alimentos contienen productos derivados de OGM, es posible que el consumidor no se entere o incluso que no se declare en la etiqueta informativa del producto.
- ✓ **El miedo a prácticas no naturales y a las nuevas tecnologías hace que la gente rechace los OGM; eso disminuye su valor en el mercado.** Algunas personas consideran que estamos alterando el equilibrio natural, y que por eso debemos frenar un poco y reducir la huella que dejamos en el mundo. En algunos casos esta convicción incluye el rechazo a cualquier tecnología que altere el estado natural de los organismos.

Identificación genética

Aunque la dotación genética de todos los seres humanos son muy similares (iguales en el 99,9 %, para ser exactos), cada persona tiene una secuencia única que la hace... bueno... única. De hecho, cada cual tiene una *huella genética* propia que identifica su perfil genético. Esa huella genética se localiza en 13 áreas del genoma humano, que suelen variar mucho de una persona a otra. Examinando esas 13 áreas, y no solo una o dos de ellas, se reduce la probabilidad de obtener una coincidencia aleatoria entre dos muestras.

La huella genética resulta muy útil en *criminología* cuando los expertos recopilan e interpretan pruebas físicas para su uso ante un tribunal de justicia. No obstante, resolver delitos no es la única función de la huella genética.

Otros usos interesantes son:

- ✓ Identificar los cuerpos de personas fallecidas en catástrofes o accidentes, si son irreconocibles.
- ✓ Verificar la paternidad, la maternidad u otras relaciones familiares.
- ✓ Analizar alimentos para averiguar si contienen organismos modificados genéticamente (OMG).
- ✓ Detectar bacterias nocivas en los alimentos o en el agua.
- ✓ Realizar análisis genéticos de cultivos y de diferentes razas de animales.

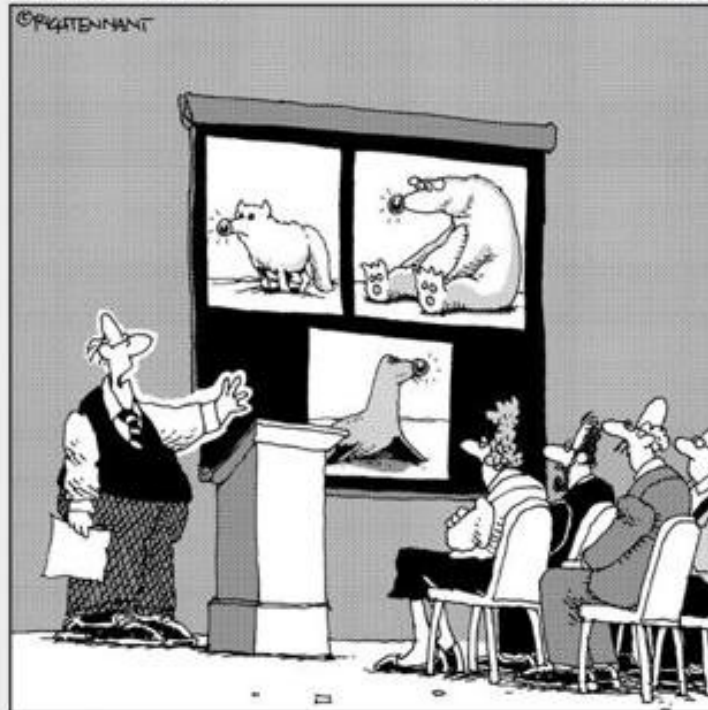
Revelar restos de especies protegidas o en peligro de extinción en materiales incautados a cazadores furtivos.

Parte III

Todo está relacionado

The 5th Wave

Rich Tennant



—Como pueden ver, existen mutaciones en todas las especies, pero sobre todo en las que habitan el Polo Norte.

En esta parte...

Los seres vivos presentan toda clase de formas, colores y tamaños. Existe vida en casi todos los rincones explorados de nuestro planeta (y en algunos todavía inexplorados), desde las cuevas más oscuras y profundas de los océanos hasta las fuentes termales del Parque Nacional de Yellowstone. Todos estos organismos tan diversos están relacionados entre sí a través de los ciclos de transferencia de energía y materia. Prepárate para explorar la diversidad (y la interconexión) de la vida en la Tierra.

Los organismos que logran satisfacer sus necesidades vitales se reproducen y así crean descendencia a su imagen y semejanza. A medida que la Tierra va cambiando, esas necesidades vitales también cambian, lo cual influye en las poblaciones de organismos. En esta parte también explicamos las conexiones entre seres vivos en el espacio y en el tiempo.

Capítulo 10

Biodiversidad y clasificación

En este capítulo

- ▶ Explorar la biodiversidad
 - ▶ Conocer las distintas formas de vida que hay en la Tierra
 - ▶ Ver cómo todos los seres vivos se organizan en grupos
-

Como seres humanos, todos estamos profundamente conectados al mundo vivo que nos rodea. Sin embargo, al transformar el mundo para satisfacer nuestras necesidades lo estamos haciendo menos hospitalario para otras especies.

Este capítulo pretende ayudarte a entender por qué la biodiversidad es tan importante para el futuro de la humanidad en la Tierra. Es tu oportunidad de familiarizarte con la diversidad de la vida que te rodea y descubrir el modo en que los biólogos organizan todas esas formas de vida en un sistema de clasificación específico.

Biodiversidad: nuestras diferencias nos hacen más fuertes

La diversidad de los seres vivos que pueblan la Tierra es lo que llamamos *biodiversidad*. Los biólogos han encontrado vida en casi todos los rincones del

planeta donde han mirado, desde las cuevas más oscuras hasta las frondosas selvas amazónicas, pasando por las profundidades de los océanos. En las cuevas profundas donde jamás penetra la luz del sol, las bacterias obtienen energía de los metales de las rocas. En las selvas amazónicas hay plantas que crecen en las copas de los árboles, recogen agua y forman pequeños estanques aéreos que se convierten en el hogar de insectos y ranas arbóreas. En las profundidades oceánicas hay peces ciegos y otros animales que se alimentan de los residuos que caen desde el mundo de luz que se encuentra a muchos metros por encima de ellos. Cada uno de esos entornos presenta una serie de recursos y limitaciones que le son propios, y la diversidad de la vida se debe, precisamente, a las diferentes maneras en que los organismos han respondido a las características de su entorno a lo largo del tiempo.

En los siguientes apartados conocerás las razones de que la biodiversidad sea tan importante y entenderás por qué las acciones humanas la amenazan, pero también descubrirás cómo se puede proteger.

Valorar la biodiversidad

Muchas personas eligen vivir con especies que se les parecen mucho, por ejemplo otras personas, perros, gatos y animales de granja. Los seres vivos que son diferentes, como es el caso de babosas, insectos y bacterias, pueden resultar molestos, asquerosos, raros o incluso amenazadores. Por otro lado, algunas personas se sienten fascinadas por la diversidad de la vida terrestre y tienen la costumbre de ver documentales naturalistas en la televisión, visitar zoos, acuarios y jardines botánicos, o viajar a otros lugares del planeta para ver organismos únicos en su hábitat natural.

Aprecies o no la diversidad de la vida en la Tierra, la biodiversidad es importante (y merece ser valorada) por las siguientes razones:



La salud de los sistemas naturales depende de la biodiversidad. Los científicos que estudian las interconexiones entre

diferentes tipos de seres vivos y el medio en el que se desarrollan (un tema que se trata en el capítulo 11) han determinado que la biodiversidad es importante para mantener el equilibrio en los sistemas naturales. Cada tipo de ser viviente influye en su ecosistema y la pérdida de una sola especie puede tener repercusiones irreversibles.

- ✓ **Muchas economías dependen de los entornos naturales.** Existe un sector económico llamado *ecoturismo* que ha surgido alrededor de la visita a hábitats naturales, por lo general con un guía que explica las características del lugar.
- ✓ **Muchos fármacos de uso humano provienen de otros seres vivos.** Por ejemplo, un anticancerígeno usado en quimioterapia y comercializado con el nombre Taxol se obtenía originalmente de la corteza de una conífera que crece en la zona noroeste del Pacífico (en Norteamérica), y el principio activo de algunos medicamentos para el corazón es la digitalina, que se obtiene de la planta dedalera.
- ✓ **La biodiversidad aumenta la belleza de la naturaleza.** Los ecosistemas tienen un valor estético que agrada a la vista y relaja la mente en un mundo actualmente dominado por la tecnología.

La amenaza humana

Conforme la población humana crece y requiere más recursos naturales (en el capítulo 11 encontrarás abundante información sobre el crecimiento de la población humana), se ejerce presión sobre otras especies, que pueden verse reducidas. Estas son las razones de que las acciones humanas supongan una amenaza para la biodiversidad:

- ✓ **El desarrollo está reduciendo el tamaño de los espacios naturales.** La gente necesita lugares donde vivir y campos donde cultivar alimentos. Para ver satisfechas esas necesidades, quemamos selvas tropicales, drenamos tierras pantanosas, talamos bosques, urbanizamos valles y roturamos praderas. Cuando transformamos el suelo para uso propio, destruimos los hábitats de otras especies. Y aunque algún hábitat natural se conserve, son extensiones pequeñas y muy diseminadas. Esta

fragmentación de hábitats repercute sobre todo en los animales grandes, por ejemplo gorilas de montaña y tigres, que necesitan hábitats extensos por los que vagar, pero también en los pequeños, como es el ejemplo del lince ibérico, una especie en peligro de extinción.

- ✓ **Los residuos de origen humano contaminan el aire y el agua.** Los automóviles y las fábricas queman gasolina y carbón, combustiones que contaminan la atmósfera. Los metales de la minería y los productos químicos utilizados en las fábricas, los cultivos y los hogares llegan a las aguas subterráneas. Desde el aire y desde el agua, los contaminantes viajan por todo el planeta y pueden afectar a numerosas especies, entre ellas la humana.
- ✓ **La sobreexplotación de especies para obtener alimentos y otros materiales destinados al consumo humano ha situado algunas especies al borde de la extinción.** Como pueden reproducirse, los seres se consideran recursos renovables. Sin embargo, si explotamos esos recursos a un ritmo más alto del que la naturaleza puede reponerlos disminuye su presencia. Si quedan muy pocos miembros de una determinada especie, la supervivencia de esa especie es muy improbable. Un ejemplo son los caladeros de pesca; muchos, como los de Terranova, están agotados, lo que significa que la población de peces ha descendido hasta tal punto que se han prohibido las capturas y puede que la zona nunca se recupere.
- ✓ **Las migraciones humanas por todo el planeta pueden llevar especies de su área natural a otras que no les son propias.** Una *especie introducida* es una especie foránea que llega a un área donde no vivía. Las especies introducidas que son muy agresivas y conquistan rápidamente el hábitat se llaman *especies invasoras*. Suelen tener un gran impacto ambiental, ya que desplazan a las *especies autóctonas* (organismos pertenecientes a un determinado hábitat) y pueden, incluso, hacerlas desaparecer; además pueden atacar cultivos y transmitir enfermedades a las personas. Un ejemplo de especie invasora es el jacinto de agua, una planta procedente de América del Sur introducida en los ríos y lagos de todo el mundo. Allí donde prolifera cubre las aguas y obstaculiza el paso de la luz, por lo que se reduce la biodiversidad.

Otro ejemplo es el alga *Caulerpa*, que ha invadido grandes áreas del mar Mediterráneo y afecta gravemente a la planta *Posidonia*, esencial en el mantenimiento de todo el ecosistema, incluidos los peces que son objeto de pesca comercial.

Explorar la extinción de las especies

Los efectos combinados de todas las acciones humanas en los ecosistemas de la Tierra están reduciendo la biodiversidad del planeta. De hecho, el ritmo de extinciones está aumentando paralelamente a la población humana. Nadie sabe a ciencia cierta hasta dónde llegará la pérdida de especies como consecuencia de la actividad humana, pero no hay duda de que determinadas prácticas, como la agricultura y la deforestación, ya han causado la extinción de numerosas especies.

Muchos científicos creen que la Tierra se está enfrentando a su sexta *gran extinción*, un período de la historia geológica durante el cual desaparecerán muchas especies (la gran extinción más conocida es la que tuvo lugar hace 65 millones de años, cuando los dinosaurios desaparecieron de la faz de la Tierra). Los científicos opinan que la mayoría de las grandes extinciones anteriores se debieron a cambios drásticos en el clima de la Tierra, mientras que las extinciones actuales (como la del rinoceronte negro, el leopardo de Zanzíbar y el sapo de Monteverde) comenzaron como resultado del uso del suelo por parte de los seres humanos y podrían ir en aumento debido al calentamiento global.

La actual y progresiva pérdida podría tener otras repercusiones, aparte de la desaparición de ciertas especies. Los seres vivos están conectados unos con otros y con su entorno mediante relaciones estables pero frágiles. Por ejemplo, si una especie depende de otra para alimentarse, la desaparición de la especie que sirve de presa puede causar un declive en la especie depredadora.

En los apartados siguientes hablamos sobre dos clasificaciones de especies que los biólogos no pierden de vista para todo lo relacionado con la extinción.

Especies clave



Algunas especies son tan fundamentales en su ecosistema que si desaparecen se altera toda la composición de especies en la zona.

Estas especies que ejercen una influencia tan grande en el equilibrio de otras especies se llaman *especies clave*. Si la biodiversidad disminuye, las especies clave pueden desaparecer, lo cual causa un efecto dominó que conduce a la desaparición de muchas más especies. Si la biodiversidad cae por debajo de un mínimo, el futuro de la vida se ve amenazado.

Un ejemplo de cómo unas especies afectan a otras es el equilibrio entre estrellas de mar, erizos y algas. Las estrellas de mar se alimentan de erizos, que, a su vez, son voraces devoradores de algunos grupos de algas. Si hay estrellas, se mantiene estable la cantidad de erizos y, por lo tanto, la de algas, pero si desaparecen las estrellas (por ejemplo porque los grandes barcos de arrastre arrasan con todo lo que encuentran), aumenta el número de erizos. La consecuencia inmediata es que la algas disminuyen muchísimo porque los erizos se las comen y apenas les da tiempo a reproducirse. Todo el ecosistema se ha desequilibrado. Pero aún hay una conssecuencia más grave, al menos para los humanos: esas algas alimentan y sirven de refugio a los peces en sus estadios juveniles; peces que luego se pescarán para alimento de humanos; los barcos que faenan ya no obtendrán capturas, la industria local se hundirá y aquel barco que arrastraba las redes y destrozaba el fondo marino será víctima de sus propias acciones. En la naturaleza nada es gratis.

Especies indicadoras



Una de las maneras de vigilar la salud de un ecosistema y de los organismos que viven en él consiste en seguir la población de *especies indicadoras*, que son aquellas especies cuya presencia o ausencia proporciona información sobre el estado de conservación del ecosistema.

En la costa noroeste de Estados Unidos, la salud de los bosques propios de esos hábitats se mide por la tasa de población de la lechuza moteada del norte,

un animal que solo puede anidar y encontrar alimento en bosques centenarios. La explotación maderera ha reducido el número y el tamaño de estos bosques y eso ha causado el descenso del número de lechuzas moteadas, de manera que su población se ha convertido en un indicador de la salud, o incluso la existencia, de tales bosques. Naturalmente, en los bosques primarios no solo habitan lechuzas moteadas, sino que albergan una gran variedad de seres vivos, entre los que están árboles como la picea de Sitka y la tsuga del Pacífico y animales como el alce, el águila calva y las ardillas voladoras. Asimismo, los bosques primarios desempeñan funciones ambientales importantes como impedir la erosión, frenar los efectos de las inundaciones y de los corrimientos de tierra, mejorar la calidad del agua, y proporcionar a los salmones un lugar de desove. Si los bosques originales de la costa noroeste desaparecen o se degradan, tanto las personas como otras especies de la zona se verían muy afectadas.

Proteger la biodiversidad

La biodiversidad aumenta la probabilidad de que al menos algunos seres vivos sobrevivan en caso de producirse cambios drásticos en el medio ambiente y por eso es fundamental protegerla. Entonces, ¿qué podemos hacer para proteger la biodiversidad y conservar el medio ambiente frente a las continuas demandas de la población humana?

- ✓ Nadie tiene todas las respuestas, pero a continuación exponemos algunas ideas que merecen ser consideradas:

Conservar hábitats salvajes tan grandes como sea posible y conectar los más pequeños por medio de *corredores verdes* (extensiones de tierra o de agua que recorren los animales salvajes cuando migran o buscan alimento), de forma que los organismos que necesitan un hábitat grande para vivir puedan moverse entre varios hábitats pequeños.

- ✓ Utilizar tecnologías existentes y desarrollar otras nuevas para reducir la contaminación y limpiar los hábitats dañados. Las tecnologías que tienen un efecto mínimo sobre el medio ambiente se llaman *tecnologías limpias* o *verdes*. Algunas empresas están intentando utilizarlas con el fin de

reducir su impacto medioambiental.

- ✓ Perseguir la sostenibilidad en las actividades humanas, incluidas la fabricación, la pesca, la tala forestal y la agricultura. Algo que es *sostenible* satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.



La Gran Ley de los Iroqueses establece que “las personas deben tener en cuenta la repercusión de sus actos en la generación actual y también en generaciones futuras que todavía no han nacido”. Esta ley suele citarse de la manera siguiente: “En todas nuestras deliberaciones, debemos tener en cuenta el impacto de nuestras decisiones en las próximas siete generaciones”. Una generación abarca veinticinco años aproximadamente, de modo que para cumplir la regla de los iroqueses hay que pensar en las consecuencias que tendrán nuestros actos en los ciento setenta y cinco años venideros.

- ✓ Regular el transporte de especies por el mundo y evitar su introducción en hábitats foráneos. Esto implica prestar atención a formas de diseminar los organismos que no son obvias; por ejemplo, los barcos que van de un puerto a otro generalmente deben vaciar el agua de lastre cuando están en alta mar, para que no liberen accidentalmente organismos de otras aguas en el puerto de destino.

Conoce a tus vecinos: la vida en la Tierra

La vida en la Tierra es muy diversa, bella y compleja. Podrías pasarte toda una vida estudiando solo el universo microbiano. Cuanto más profundizas en el mundo vivo que te rodea, más aprecias las similitudes entre todos los seres vivos de la Tierra y más te fascinan las diferencias. Los siguientes apartados son una breve introducción a las principales categorías de la vida.

Bacterias: los héroes olvidados



La mayoría de las personas están familiarizadas con las bacterias patógenas, como *Streptococcus pyogenes*, *Mycobacterium tuberculosis* y *Staphylococcus aureus*. Sin embargo, la inmensa mayoría de las bacterias terrestres no causan enfermedades humanas. Al contrario, desempeñan un papel fundamental en el medio ambiente y en la salud de todos los seres vivos. Las bacterias fotosintéticas contribuyen de manera significativa a la producción de otros organismos y de oxígeno a escala planetaria (en el capítulo 5 encontrarás más información sobre la fotosíntesis). Por su parte, la bacteria *Escherichia coli* vive en los intestinos de muchos animales, entre ellos los humanos, y es esencial para favorecer la digestión de los alimentos y la fabricación de algunas vitaminas que el cuerpo necesita para estar sano. Por lo tanto, si lo piensas bien, verás que las plantas y los animales no sobrevivirían en la Tierra si no fuera por las bacterias.

En general, las bacterias tienen una longitud de entre 1 y 10 micrómetros, de manera que no son perceptibles a simple vista. Además de carecer de núcleo, su genoma consiste en una cadena de ADN. Se reproducen por vía asexual mediante un proceso llamado bipartición. Algunas bacterias forman colonias que dan lugar a una sustancia viscosa. Otras, en cambio, tienen un *flagelo* (un apéndice filamentosos de proteínas) que al moverse les permite desplazarse.

Las bacterias tienen muchas formas de obtener la energía que necesitan para crecer y diferentes estrategias para sobrevivir en condiciones extremas. Su gran diversidad metabólica les ha permitido colonizar todos los ecosistemas terrestres.

Arqueos: imitadores de bacterias

Los *arqueos*, también llamados arqueobacterias, son procariotas, igual que las bacterias. De hecho, la simple observación no basta para distinguir entre ambos tipos de organismos, ni siquiera al examinarlos al microscopio electrónico, ya que presentan aproximadamente la misma forma y tamaño,

tienen estructuras celulares similares y ambos se reproducen por bipartición. Hasta la década de 1970, no se hablaba de los arqueos, ya que se suponía que todas las células procariotas eran bacterias. Entonces un científico llamado Carl Woese empezó a realizar comparaciones genéticas entre procariotas. Woese sorprendió a toda la comunidad científica cuando, a partir de secuencias de material genético de organismos procariotas, demostró que estos se dividen en dos grupos distintos (bacterias y arqueos). Los primeros arqueos se encontraron en ambientes extremos (lagos salados y aguas termales) y por eso se dice que son extremófilas (*filo* significa ‘afinidad’, así que *extremófilo* significa ‘que siente afinidad por lo extremo’). Sin embargo, posteriormente se han encontrado arqueos en todos los lugares donde los científicos los han buscado. Viven felices ahora mismo en la tierra de tu jardín, y son muy numerosos en los océanos. Como no hace mucho que se descubrieron, los científicos continúan investigando las funciones que desempeñan los arqueos en diferentes hábitats y cuál ha sido su papel en la evolución de la vida. De momento lo que se sabe seguro es que son tan abundantes como las bacterias.

Eucariotas: viejos conocidos

A menos que vivas encerrado en un armario, probablemente estés familiarizado con la vida en su forma eucariota, ya que la ves a todas horas. Nada más poner un pie en la calle te encuentras multitud de plantas y animales (e incluso una seta o dos, si buscas un poco).

En el nivel más fundamental, todos los organismos eucariotas son bastante parecidos. Todos tienen la misma estructura celular con núcleo y orgánulos (en el capítulo 4 hablamos de las células eucariotas con más detalle), comparten muchas estrategias metabólicas (explicadas en el capítulo 5) y se reproducen por vía asexual, mediante mitosis, o por vía sexual, mediante meiosis (ambas se explican en el capítulo 6).

A pesar de estas similitudes, seguro que todavía piensas que eres muy diferente de una zanahoria. Y tienes razón al pensarlo. Las diferencias entre tú y una zanahoria son lo que os hace pertenecer a dos reinos distintos. De

hecho, entre los eucariotas existen suficientes diferencias como para clasificarlos en cuatro reinos:

- ✓ **Reino animal.** Los animales son organismos que comienzan la vida como una única célula llamada cigoto que resulta de la fusión de un espermatozoide y un óvulo. El cigoto luego se divide y forma una bola de células llamada *blástula*. Si te estás preguntando de dónde salen las escamas, el pelo, las garras o las piernas, estas características animales tan familiares aparecen más tarde y se desarrollan unas u otras según el grupo. De hecho, la clasificación de los animales en filos, familias y órdenes tiene algo que ver con cómo se desarrollan a partir del cigoto (encontrarás más información a este respecto en el apartado “Los taxones”, más adelante en este mismo capítulo). Aunque el reino animal incluye animales de sobras conocidos como perros, gatos, lagartos, pájaros y peces, la característica definitoria de los animales debe cumplirse para todos los miembros del reino, también para los gusanos, las ranas y las esponjas de mar.
- ✓ **Reino vegetal.** Los organismos del reino vegetal son organismos fotosintéticos que comienzan la vida como embriones que se nutren de tejido materno. Esta definición incluye todas las plantas que conoces: pinos, plantas con flores (incluidas las zanahorias), hierbas, helechos y musgos. Todas las plantas tienen células con paredes de celulosa y se reproducen asexualmente por mitosis (descrita en el capítulo 6), aunque también pueden reproducirse sexualmente (en el capítulo 20 encontrarás más información sobre las estructuras y los ciclos vitales de las plantas).



La definición de plantas, que especifica una fase en la que un embrión se nutre de tejido materno, excluye a la mayoría de las algas que hay en la Tierra. Las algas y las plantas están tan estrechamente relacionadas que muchas personas incluyen las algas en el reino vegetal, aunque muchos biólogos se oponen a ello.

- ✓ **Reino de los hongos.** Durante mucho tiempo los hongos se consideraron

plantas, pero no se parecen a ellas. De entrada no son fotosintéticos, sino que obtienen el alimento de la materia orgánica, que descomponen y digieren. Sus células tienen paredes de *quitina* (un polisacárido nitrogenado muy resistente) y no producen células móviles durante su ciclo de vida. Al reino de los hongos pertenecen hongos que producen setas y otros microscópicos, como las levaduras que se forman en el pan y en el queso, así como otros que atacan a las plantas (royas y oidios). La levadura también pertenece al reino de los hongos aunque su crecimiento sea diferente (la mayoría de los hongos crecen como filamentos, pero la levadura crece en forma de pequeñas células ovaladas).

- ✓ **Reino protista.** Por extraño que parezca, el reino protista se define por exclusión: es el que comprende el resto de los organismos eucariotas. Los biólogos estudiaron los animales, las plantas y los hongos y los enmarcaron en tres grupos diferentes hace ya mucho tiempo. Sin embargo, hay muchísimos eucariotas que no encajan en ninguno de esos tres reinos. En una sola gota de agua de un estanque existe un mundo entero de protistas microscópicos. Los protistas son tan diversos que algunos biólogos proponen hasta 11 reinos para clasificarlos. No obstante, por el momento nadie ha presionado para que eso ocurra, lo cual es una suerte para ti, porque seguro que no te apetece aprender de memoria el nombre de 15 reinos de eucariotas.

¿Y qué pasa con los virus?

Una adivinanza: ¿qué tiene material genético, hay miles de millones, funciona como un parásito vivo pero no es realmente un ser vivo? ¡Un virus! Sí, esos organismos que causan enfermedades, desde el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH) hasta el del herpes, pasando por el resfriado común e incluso algunas formas de cáncer. Podrían ser los parásitos más eficientes del mundo. Sin embargo, en el más estricto de los sentidos, los virus no están realmente vivos porque no pueden reproducirse fuera de una célula anfitriona.

A diferencia de los seres vivos, los virus no están hechos de células. Simplemente son fragmentos minúsculos de ADN o ARN envueltos en proteína. Al ser tan pequeños (una fracción del tamaño de una bacteria), no pueden verse, ni siquiera con la ayuda de un microscopio óptico.

Nadie sabe a ciencia cierta cómo han evolucionado los virus. Algunos biólogos creen que originalmente eran parásitos intracelulares y que llegaron a ser tan buenos en lo suyo (ser parásitos) que aprendieron a sobrevivir únicamente con ácido nucleico. Otros opinan que los virus son fugitivos celulares, genes que se fueron de casa pero no pueden duplicarse hasta que regresan a un tipo determinado de célula anfitriona. Y aún hay otros que piensan que los virus podrían representar una ramificación de la vida primigenia, antes de que las células evolucionaran. En el capítulo 17 encontrarás información concreta sobre el modo en que los virus atacan a las células y se reproducen.

El árbol de la vida: el sistema de clasificación de los seres vivos

Igual que dibujarías un árbol genealógico para mostrar las relaciones entre tus padres, abuelos y otros parientes, los biólogos utilizan un *árbol filogenético* (un dibujo que ilustra las relaciones entre un grupo de organismos) para representar las relaciones entre los diversos grupos de seres vivos. Ese árbol de la vida permite clasificar todos los organismos que habitan en el planeta y organizarlos en grupos más o menos homogéneos.

Probablemente conocerás la relación que hay entre los miembros de tu familia, pero los biólogos tienen que servirse de pistas para deducir las relaciones entre seres vivos. A continuación puedes ver algunas de las pistas que utilizan para deducir esas relaciones.



✓ **Estructuras físicas.** Las estructuras que los biólogos utilizan con fines de comparación pueden ser grandes, como ocurre con las plumas, o muy pequeñas, como es el caso de una pared celular (en el capítulo 4 nos referimos con más detalle a la estructura celular). Por ejemplo, los organismos con plumas están relacionados entre sí y están en el grupo de las aves.

Los biólogos consideran que las estructuras reproductivas son especialmente importantes para determinar relaciones.

- ✓ **Componentes químicos.** Algunos organismos producen sustancias químicas únicas. Las bacterias, por ejemplo, son las únicas células que fabrican una molécula híbrida de azúcar y proteína llamada peptidoglucano. Si se encuentra un organismo nuevo que produce esta molécula, se sabe que se trata de una bacteria.
- ✓ **Información genética.** La dotación genética de un organismo lo asemeja a los que le son más cercanos (los de su especie) y lo diferencia de otros que son parientes lejanos. Cuanto más lejanos, más diferencias genéticas tienen sus rasgos, de manera que la lectura del genoma permite conocer de primera mano las diferencias entre especies. Incluso organismos que parecen muy diferentes, como una persona y la bacteria *Escherichia coli*, tienen algunos rasgos en común. Por ejemplo, todas las células de la Tierra contienen ribosomas para sintetizar proteínas, lo que significa que los biólogos pueden leer el gen que tiene el código correspondiente a una de tus proteínas ribosómicas y compararlo con el gen que tiene el código correspondiente a una de las proteínas ribosómicas de la *E. coli*.

La información genética es el arma más potente para establecer el árbol de la vida y todas sus divisiones, ya que no solo pretende hacer grupos, sino que estos expliquen cómo han surgido unos a partir de otros o cómo se han separado: es un auténtico árbol familiar.



Cuanto más características en común tengan dos organismos más cercano será su parentesco. En función de características estructurales, celulares, bioquímicas y genéticas, los biólogos pueden clasificar los seres vivos en grupos que reflejan la historia evolutiva del planeta. Esa historia indica que la vida en la Tierra surgió de un ancestro común universal hace 4.500 millones de años. Todos los seres vivos que existen actualmente están emparentados porque descienden de ese ancestro común.

En los siguientes apartados mostramos los distintos grupos, o taxones, que forman la clasificación de los seres vivos y explicamos de dónde proviene el

nombre científico de cada uno de los taxones.

Estos son mis dominios

El grado de parentesco entre dos organismos puede interpretarse a partir de sus ubicaciones en el árbol filogenético.

- ✓ **Cada organismo o grupo que se compara ocupa una rama del árbol.** Una rama representa a todos los animales; otra, a todas las plantas.
- ✓ **Cuanto menor es la separación entre dos grupos, más estrecho es el parentesco entre ellos.** La separación entre animales y plantas es mucho menor que la separación entre animales y cualquier bacteria, de manera que el parentesco entre animales y plantas es mucho más estrecho que entre animales y bacterias.
- ✓ **Si dos ramas se unen en un punto común, significa que los grupos representados por esas ramas evolucionaron a partir de un antepasado común.** Los grupos que tienen un punto común muy lejano en el tiempo se separaron antes que los grupos cuyo punto común es más reciente.

Cuando los biólogos utilizaron información genética para comparar todas las formas de vida de la Tierra, descubrieron que los seres vivos podían agruparse en tres grandes bloques llamados dominios. Los tres dominios de la vida son:

- ✓ **Bacterias.** Las bacterias son procariotas, es decir, carecen de membrana nuclear en torno al ADN (en el capítulo 4 hablamos sobre las células procariotas). La mayoría de las bacterias son organismos unicelulares y tienen una pared celular hecha de peptidoglucano.
- ✓ **Arqueos.** Los organismos de este dominio son procariotas unicelulares. Además de las diferencias genéticas, los arqueos presentan varias diferencias químicas respecto a las bacterias, como el hecho de que sus paredes celulares nunca están hechas de peptidoglucano.
- ✓ **Eucariotas.** Los organismos de este dominio pueden ser unicelulares o pluricelulares; en ambos casos las células son eucariotas, es decir, tienen

un núcleo bien definido y delimitado por una membrana nuclear, y el ADN se encuentra dentro de él (en el capítulo 4 hablamos de las células eucariotas). A este dominio pertenecen organismos con los que estarás familiarizado, como los animales, las plantas, los hongos y las algas.

Los taxones

Agrupar todos los seres vivos de la Tierra en tres grandes dominios lejanamente emparentados (como hemos explicado en el apartado anterior) está muy bien, pero los biólogos necesitan trabajar con grupos más pequeños para determinar las similitudes existentes entre diferentes tipos de organismos. De ahí que se haya creado la *jerarquía taxonómica*, una nomenclatura que clasifica los organismos según sus relaciones evolutivas. Dentro de esta jerarquía, los seres vivos están organizados por grupos, los taxones, desde el más grande y más inclusivo hasta el más pequeño y menos inclusivo.



La jerarquía taxonómica, con los taxones ordenados de mayor a menor, es la siguiente (ten en cuenta que los organismos pertenecen a un taxón o a otro en función de las similitudes con los otros organismos de ese mismo taxón). Las características empleadas para definir un nivel jerárquico, sean cuales sean, deben ser aplicables a todos los organismos ubicados en esa categoría.

- ✓ **Dominio.** Los dominios agrupan organismos que comparten sus características fundamentales, como la estructura celular y los rasgos químicos. Por ejemplo, los organismos pertenecientes al dominio porque sus células tienen núcleo, por las moléculas que conforman la pared celular (en los que la tienen) y la membrana, y por la manera de sintetizar las proteínas.
- ✓ **Reino.** Los reinos agrupan organismos cuyo desarrollo embrionario y forma de obtener la energía es parecida. Por ejemplo, los organismos del reino animal se diferencian en el desarrollo; además, los vegetales

fabrican su propio alimento mediante la fotosíntesis, mientras que los animales ingieren la comida

- ✓ **División.** Las divisiones separan organismos en función de características clave que definen los grandes grupos de cada reino. Por ejemplo, en el reino vegetal, las plantas con flores (angiospermas) pertenecen a la división de las gimnospermas, que es diferente de la división de las gimnospermas, la cual engloba a las plantas que producen semillas en conos. Dentro del reino animal se habla de **filos** en vez de divisiones.
- ✓ **Clase.** Las clases separan organismos en función de características clave que definen los grandes grupos de cada división. Por ejemplo, dentro de las angiospermas (que forman una división) las plantas que tienen dos cotiledones constituyen la clase de las dicotiledóneas (o magnoliópsidas), mientras que las plantas que tienen un solo cotiledón forman la clase de las monocotiledóneas (o liliópsidas).
- ✓ **Orden.** Los órdenes son la jerarquía que va debajo de las clases. Por ejemplo, dentro de la clase dicotiledóneas, la planta de la nuez moscada pertenece a la clase magnoliales, mientras que la planta de la pimienta negra pertenece al de las piperales, que se diferencian de la anterior por la estructura de las flores.
- ✓ **Familia.** Cada familia tiene características típicas y reconocibles de las flores. Así, por ejemplo, dentro del orden magnoliales, las familias ranunculáceas tienen flores claramente distintas de las de la familia de las rosáceas.
- ✓ **Género.** Los diversos géneros que forman una familia tienen flores bastante parecidas. Por ejemplo, dentro de la familia de las rosáceas, las flores de las rosas (género *Rosa*) se reconocen como cercanas a las del cerezo (género *Prunus*), aunque no son totalmente iguales.
- ✓ **Especie.** Los organismos que la conforman son muy parecidos y, lo que es más importante, pueden reproducirse entre ellos. Si un día estás paseando por un jardín de rosas y ves rosas chinas (*Rosa chinensis*) de muchos colores distintos, todas pertenecen a la misma especie, ya que pueden reproducirse entre ellas.



Existen varias frases divertidas que ayudan a memorizar la jerarquía taxonómica. A nosotras nos gusta especialmente la siguiente, porque es muy fácil de recordar: *En los dominios del rey un filósofo hace divisiones con mucha clase que para poner orden en su familia compra géneros de buena especie* (dominio, reino, filo/división, clase, orden, familia, género y especie).

Todos los seres vivos que pueblan la Tierra están emparentados, pero el grado de parentesco depende de la posición relativa en la jerarquía taxonómica. Por ejemplo, tanto tú como una zanahoria estáis en el dominio eucariotas, de manera que claramente tenéis algunas cosas en común. Sin embargo, compartes más características con otros organismos pertenecientes al reino de los animales.

En la tabla 10-1 se compara la clasificación, o posición taxonómica, de una persona, un perro, una zanahoria y la bacteria *Escherichia coli*.

Tabla 10-1: Clasificación taxonómica de varias especies				
Grupo taxonómico	Ser humano	Perro	Zanahoria	<i>E. coli</i>
Dominio	Eucariotas	Eucariotas	Eucariotas	Bacterias
Reino	Animal	Animal	Vegetal	Eubacterias
Filo/ División	Cordados	Cordados	Angiospermas	Proteobacterias
Clase	Mamíferos	Mamíferos	Magnoliópsidos	Gammaproteobacterias
Orden	Primates	Carnívoros	Apiales	Enterobacteriales
Familia	Homínidos	Cánidos	Apiáceas (Umbelíferas)	Enterobacteriáceas
Género	<i>Homo</i>	<i>Canus</i>	<i>Daucus</i>	<i>Escherichia</i>
Especie	<i>Homo sapiens</i>	<i>Canus familiaris</i>	<i>Daucus carota</i> <i>zanahoria</i>	<i>Escherichia coli</i>

De los organismos relacionados en la tabla 10-1, el que tiene más en común contigo es el perro. Los dos sois animales dotados de un cordón nervioso central (filo cordados) y los dos sois mamíferos (clase mamíferos), lo que significa que tenéis pelo y que las hembras de ambas especies producen leche. Sin embargo, también presentáis muchas diferencias, entre ellas la estructura dentaria que os enmarca en órdenes distintos, a ti en los primates y al perro en los carnívoros. Si te comparas con una planta, verás que compartís ciertas características de la estructura celular que os colocan a los dos en el dominio eucariota, pero apenas tenéis nada más en común.



Dos organismos que pertenecen a la misma especie son los que presentan más similitudes entre sí. Para la mayoría de los organismos eucariotas, los miembros de la misma especie pueden reproducirse por vía sexual, generando así descendientes que también podrán reproducirse.

Las bacterias y los arqueos no se reproducen por vía sexual, de manera que sus especies están definidas por similitudes químicas y genéticas.

El juego de los nombres

Cuando los biólogos descubren un nuevo organismo, le ponen un nombre científico. Llevan cientos de años haciéndolo según el sistema desarrollado a mediados del siglo XVIII por un naturalista sueco llamado Carl Linnaeus. Linnaeus (o Linné) creó un sistema de clasificación que incluía algunas de las categorías, como reino y clase, que todavía se utilizan actualmente en la jerarquía taxonómica. Linnaeus también propuso el sistema de *nomenclatura binomial* que se utiliza desde entonces para asignar a cada especie un nombre único formado por dos palabras.

En la nomenclatura binomial, la primera palabra del nombre científico de una especie es el género y la segunda palabra es el *descriptor específico*. Las reglas de uso de la nomenclatura binomial son las siguientes:

- ✓ El género se escribe siempre con mayúscula.

- ✓ El descriptor específico nunca va separado del género, aunque el género puede abreviarse con la primera letra.
- ✓ Tanto el género como el descriptor deben escribirse en cursiva (o subrayarse si se escribe a mano) para indicar que se trata del nombre científico oficial.

De acuerdo con estas reglas, los seres humanos se identifican correctamente como *Homo sapiens* u *H. sapiens*.

Observa que el género y la especie se expresan en latín, aunque ambos tengan nombres en las distintas lenguas.

Capítulo 11

Observar cómo se adaptan los organismos

En este capítulo

- ▶ Descubrir cómo interaccionan los organismos entre ellos y con el medio ambiente
 - ▶ Analizar poblaciones y su crecimiento (o la ausencia del mismo)
 - ▶ Seguir la ruta de la energía y de la materia en la Tierra
-

Una de las maravillas de este planeta es que, a pesar de haber condiciones climáticas muy duras en distintas partes del mundo, los organismos siempre se las arreglan para conseguir de los otros, y de su entorno, lo que necesitan para sobrevivir. En este capítulo hablamos de los ecosistemas y de cómo interaccionan los organismos para mantener el equilibrio de la vida en la Tierra. Asimismo, explicamos los métodos científicos de estudio de las poblaciones.

Ecosistemas integradores

La vida prospera en todos los hábitats de la Tierra. Cada uno de ellos tiene sus *ecosistemas*. Un ecosistema es el conjunto de seres vivos que interaccionan entre sí en un determinado entorno; se trata, pues, de una pequeña máquina

compuesta de componentes vivos y no vivos. Los componentes vivos, llamados *factores bióticos*, son todos los organismos que comparten ese hábitat. Los componentes no vivos, llamados *factores abióticos*, son los factores físicos y químicos (como el aire, la luz del sol y el suelo).

Existen ecosistemas en todos los océanos, ríos y bosques de nuestro planeta, e incluso en un huerto o en un parque. Pueden ser tan inmensos como la selva amazónica o tan diminutos como un tronco en descomposición. El truco es que, cuanto más grande es un ecosistema, mayor es el número de ecosistemas menores que contiene. Por ejemplo, el ecosistema de la selva amazónica también se compone del ecosistema del suelo y el ecosistema del río que circula por su interior.



La *ecología* es la rama de la ciencia que se dedica al estudio de los ecosistemas, concretamente el modo en que los organismos interaccionan entre ellos y con su medio ambiente. Los *ecólogos* se dedican a estudiar cómo son y cómo cambian los ecosistemas, y para ello analizan las interacciones entre los seres vivos y su entorno a muchas escalas diferentes, desde la más grande a la más pequeña.

En los siguientes apartados explicamos la clasificación de los ecosistemas de la Tierra y las interacciones entre las especies. Antes de continuar leyendo, echa un vistazo a la figura 11-1 para hacerte una idea de cómo están organizados los seres vivos.

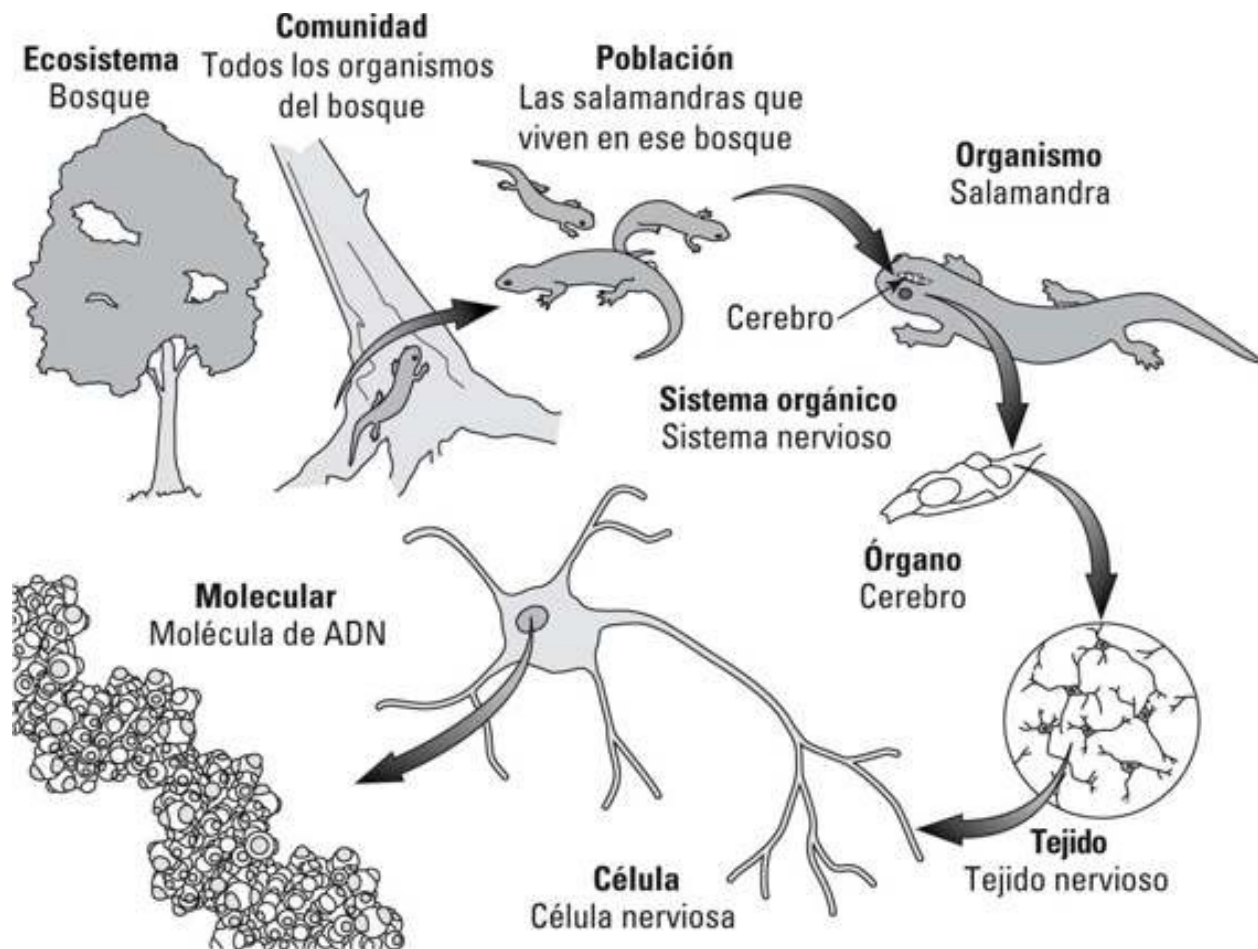


Figura 11-1:
Organización de los seres vivos.

Biomás: comunidades de vida

Todos los seres vivos de un ecosistema forman una *comunidad*. Por ejemplo, la comunidad de un bosque puede estar formada por encinas, madroños, lentiscos, otros árboles y arbustos, ardillas, pájaros, murciélagos, insectos, setas, bacterias y muchos otros organismos. Los diferentes tipos de comunidades que hay en la Tierra se llaman *biomas*. Existen seis grandes tipos de biomas:

- ✓ **Los biomas de agua continental** son estanques, ríos, arroyos, lagos y humedales. Tan solo el 3 por ciento de la superficie terrestre está cubierto de agua continental (que puede ser dulce o salada), pero en estos biomas habitan muchas especies, entre ellas plantas, algas, peces e

insectos. De estos biomas, los humedales son los que tienen mayor diversidad biológica.

- ✓ **Los biomas marinos** tienen como medio físico el agua salada de los océanos, en los que se desarrollan ecosistemas tan complejos como los arrecifes de coral. Ocupan el 75 por ciento de la superficie de la Tierra y son muy importantes para la estabilidad atmosférica. Además, influyen en la vida de todo el planeta: más de la mitad de los procesos de fotosíntesis que ocurren en la Tierra tienen lugar en el océano (en el capítulo 5 describimos la fotosíntesis).



Los estuarios y los deltas son zonas en las que el agua dulce se mezcla con la salada, por lo que en ellos se desarrollan bahías, estrechos, lagunas, marismas y playas. Se trata de un hábitat importante para muchas especies de aves, peces y moluscos. Como en ellos viven alevines de peces, son fundamentales para el mantenimiento de la pesca comercial. El problema es que, al estar en la costa, que es un terreno muypreciado para construir viviendas y para otros usos humanos, sufren el impacto del desarrollo urbanístico.

- ✓ **Los biomas desérticos** reciben muy poca lluvia y ocupan aproximadamente el 20 por ciento de la superficie de la Tierra. Las plantas y los animales que viven en desiertos han desarrollado adaptaciones especiales, por ejemplo la capacidad de almacenar agua o crecer tan solo durante la temporada de lluvias, para tener más posibilidades de sobrevivir en esos entornos tan secos. Entre los habitantes más famosos de los desiertos se encuentran cactus, reptiles, aves, camellos, conejos y dingos.
- ✓ **Los biomas forestales** contienen muchos árboles y otros tipos de vegetación arbórea. Ocupan cerca del 30 por ciento de la superficie de la Tierra y son el hogar de numerosas plantas y animales de todos los grupos. Son importantes para el equilibrio del carbono en el planeta, ya que reducen la cantidad de dióxido de carbono atmosférico, que lo absorben para realizar la fotosíntesis. Los bosques están siendo muy

perjudicados por el desarrollo humano, puesto que en todas partes se talan grandes superficies forestales para obtener madera y nuevos terrenos con fines urbanísticos y agrícolas.



Las *selvas tropicales*, o *bosques lluviosos tropicales*, están formadas, mayoritariamente, por especies de hoja perenne. Se caracterizan por sus elevadas precipitaciones y por su increíble biodiversidad. La mitad de los animales que hay en el planeta viven en selvas tropicales, entre ellos, gorilas, ranas arbóreas, mariposas, tigres, loros y boas constrictor, así como una enorme variedad y riqueza de insectos y otros invertebrados.

- ✓ **Los biomas de pradera y sabana** están dominados por plantas herbáceas, pero en ellos también habitan muchas otras especies como aves, cebras, jirafas, leones, búfalos, termitas y hienas. Las praderas y sabanas ocupan aproximadamente el 30 por ciento de la superficie de la Tierra. Generalmente se extienden sobre grandes extensiones de terreno llano, tienen pocos árboles y un suelo fértil. Debido a estas características, las personas han transformado muchas praderas y sabanas naturales en terrenos de cultivo.
- ✓ **Los biomas de tundra y de alta montaña** son muy fríos y en ellos hay muy poca agua en estado líquido. Las tundras ocupan aproximadamente el 15 por ciento de la superficie del planeta. Se encuentran en los polos y en lugares muy elevados. Las tundras árticas son el hogar de organismos como el zorro ártico, el caribú y el oso polar, mientras que en la alta montaña viven cabras, alces y aves. En ambos tipos de hábitat escasean los nutrientes y los períodos de actividad de los organismos son bastante breves.

Por qué no podemos ser amigos: interacciones entre especies

No todos los organismos de una comunidad son iguales. De hecho, a menudo pertenecen a especies diferentes (es decir, no pueden reproducirse). Sin

embargo, esos organismos deben interaccionar unos con otros a diario con el fin de encontrar lo que necesitan para sobrevivir. Naturalmente, igual que ocurre con las relaciones entre personas, las relaciones entre otras especies pueden ser de colaboración, de enemistad, de beneficio mutuo...



Los ecólogos utilizan algunos términos específicos para describir los tipos de interacciones entre especies diferentes:

Mutualismo. Ambos organismos obtienen algún beneficio de la relación. Por ejemplo, tú les proporcionas a las bacterias de tu intestino delgado un lugar agradable donde vivir y un montón de comida gratis; a cambio, ellas fabrican vitaminas para ti. Otro ejemplo es la colaboración entre algunos hongos del suelo y las raíces de algunas plantas. Esos hongos se unen a las raíces de esas plantas y crean unas estructuras llamadas micorrizas, que hacen que aumente la superficie por la que la planta absorbe agua y minerales. A cambio, los hongos obtienen un poco de azúcar de la planta.

Competencia. Dos organismos mantienen una relación competitiva y uno obtiene más ventajas que el otro aunque sin atacarlo directamente. Las especies compiten entre sí para conseguir un recurso, por ejemplo el alimento, el espacio o el agua. Imagínate un huerto plagado de malas hierbas. En esa situación, las hortalizas plantadas no pueden desarrollarse bien porque compiten con las malas hierbas para conseguir agua, minerales y espacio. El resultado es que las plantas son más pequeñas y más débiles de lo que serían si no tuvieran que compartir los recursos del suelo.

Depredación y parasitismo. En ambas relaciones un organismo sale beneficiado a expensas del otro. Cuando un león se come una gacela, el león es el único que sale beneficiado. De igual modo, cuando un perro contrae lombrices intestinales, las lombrices consiguen un hogar y mucha comida, pero el perro va quedando desnutrido. La diferencia entre estas dos situaciones es que el depredador mata a su presa mientras que el parásito no lo hace; a menudo el parásito no causa tanto daño como para matar al huésped (piensa en los piojos); otras veces el parásito se aprovecha del otro organismo durante un tiempo y luego lo abandona.

El estudio de las poblaciones

Los organismos de una misma especie que viven en un mismo lugar forman una *población*. Por ejemplo, en un encinar hay una población de encinas y una población de madroños; también hay una de petirrojos y otra de ratones de campo y una de saltamontes y una de mariquitas... y así tantas poblaciones como especies habitan en ese encinar.



La ecología de poblaciones es la rama de la ecología que estudia la estructura de las poblaciones y su dinámica temporal y espacial (la *biología poblacional* es un campo muy similar que también abarca el estudio de la genética de poblaciones).

En los siguientes apartados te presentamos los conceptos básicos de la ecología de poblaciones. Estos conocimientos te ayudarán a entender el modo en que las poblaciones crecen y cambian, así como los métodos empleados por los científicos para medir y estudiar dicho crecimiento. Asimismo, tomarás conciencia del crecimiento que está experimentando la población humana.

Conceptos básicos de la ecología de poblaciones

Igual que todos los ecólogos, los que estudian las poblaciones están interesados en las interacciones de los organismos entre ellos y con su entorno, pero estos no estudian cómo se producen esas relaciones sino que analizan qué consecuencias tienen en las poblaciones (y no en los individuos aislados).

En los siguientes apartados comentamos algunas de las propiedades básicas de las poblaciones y entenderás por qué son importantes.

Densidad poblacional



Una parámetro que describe la estructura de una población es la *densidad poblacional* (cuántos organismos hay en una determinada superficie).

Pongamos que quieres hacerte una idea de cómo está distribuida la población humana en el estado de Nueva York. El estado tiene una extensión de 122.284 km² y en él viven aproximadamente 19,5 millones de personas. Si divides el número de personas por la superficie total, te sale una densidad poblacional de 159 personas km² cuadrado. Sin embargo, la población humana de ese estado no está distribuida de manera uniforme. Para saber realmente cómo está distribuida la población humana en el estado de Nueva York, tienes que comparar la densidad poblacional del estado con la densidad poblacional de la ciudad de Nueva York.

El área metropolitana de Nueva York ocupa una superficie de 785 km² cuadrados y tiene 8.214.426 habitantes, de lo que resulta una densidad poblacional de 10.464 personas/km². Si los habitantes estuvieran distribuidos de manera uniforme, a cada uno le correspondería un espacio de 6.270 m². Sin embargo, los habitantes de la ciudad de Nueva York solo tienen 96 m² para cada uno, en promedio, claro.

Todas estas cifras sirven para demostrar que la población humana del estado de Nueva York está muy concentrada en la ciudad de Nueva York y mucho menos concentrada en el resto del estado.

Dispersión



Se utiliza el término *dispersión* para describir la distribución de una población en un determinado territorio. Las poblaciones se dispersan de tres formas:

- ✓ **Dispersión agregada.** En este tipo de dispersión, la mayoría de los organismos forman grupos y unos pocos organismos quedan aislados. Es

el caso de los habitantes de la ciudad de Nueva York, de las abejas de una colmena o de las hormigas de un hormiguero.

- ✓ **Dispersión uniforme.** Los organismos se sitúan de manera más o menos equidistante entre ellos, ocupando todo el espacio. Las vides de un viñedo y las hileras de plantas de maíz en un campo de cultivo son buenos ejemplos de dispersión uniforme; observa que los dos ejemplos son ecosistemas artificiales forzados por el ser humano.
- ✓ **Dispersión aleatoria.** En este tipo de dispersión, los organismos se distribuyen al azar (ten en cuenta que la dispersión aleatoria es poco frecuente en la naturaleza, pero puede ocurrir cuando el viento o el agua diseminan semillas o larvas). Entre los ejemplos de dispersión aleatoria se encuentran los percebes, que se distribuyen al azar en la superficie de las rocas, y las semillas arrastradas por el viento.

Dinámica de poblaciones



La *dinámica de una población* son los cambios que experimenta esa población a lo largo del tiempo o en una determinada zona. Para analizarla, observar los cambios y percibir las tendencias se suelen emplear diagramas de estructura por edades.

Los *diagramas de estructura por edades*, también llamados *pirámides de población*, muestran la cantidad de organismos que hay en cada grupo de edad de una población en un determinado momento. La forma de la pirámide indica el patrón de crecimiento de la población.

En el ámbito de la sociología, esas mismas pirámides se usan para estudiar las poblaciones humanas.

- ✓ **Un gráfico con forma de pirámide indica que la población está creciendo rápidamente.** Echa un vistazo a la figura 11-2a. En México hay más personas por debajo de la edad fértil que por encima de ella, de modo que el diagrama de estructura por edades tiene la base ancha y la parte superior estrecha. Las generaciones más jóvenes son más

numerosas que las generaciones precedentes, de manera que el tamaño de la población está aumentando.

- ✓ **Un gráfico uniforme indica que la población se mantiene relativamente estable.** La figura 11-2b dice que en Islandia el número de personas que han superado la edad fértil coincide, aproximadamente, con el de personas que están por debajo de ella, lo cual se traduce en el descenso de la población a medida que el grupo de más edad envejece. Las generaciones más jóvenes son casi igual de numerosas que las generaciones precedentes, de manera que el tamaño de la población permanece más o menos igual.
- ✓ **Un gráfico que tenga la base más estrecha que la parte central indica que la población está decreciendo.** Si te fijas en la figura 11-2c, verás que en Japón hay más personas por encima de la edad fértil que por debajo de ella. Las generaciones más jóvenes son menos numerosas que las generaciones precedentes, de manera que la población está disminuyendo.

Supervivencia

Los científicos interesados en la *demografía* (la ciencia que estudia la dinámica de las poblaciones: tasas de natalidad, mortalidad y migración causantes de cambios en las poblaciones) observaron que cada tipo de organismo muestra un patrón característico en cuanto al tiempo que sobreviven los individuos tras nacer.

Es posible observar varios grupos de organismos que hayan nacido a la vez y tomar nota de su *supervivencia*, es decir, del número de organismos del grupo que continúan vivos en diferentes momentos. Seguidamente se dibujan *curvas de supervivencia*, que son gráficas que representan la supervivencia a lo largo del tiempo (como el que puedes ver en la figura 11-3), para ilustrar el tiempo que generalmente sobreviven los individuos de una población.

Existen tres tipos de supervivencia:

- ✓ **Supervivencia de tipo I.** La mayoría de los descendientes sobreviven y los organismos mueren a una edad avanzada, cerca del final de su ciclo de vida. La curva de supervivencia humana es de este tipo, porque la

mayoría de las personas llegan a la mediana edad (alrededor de los cuarenta años) o más.

- ✓ **Supervivencia de tipo II.** La muerte puede sobrevenir en cualquier momento del ciclo de vida, generalmente debido a depredación o a enfermedad. Los ratones tienen una curva de supervivencia de tipo II: nunca saben cuándo se los va a comer otro animal.
- ✓ **Supervivencia de tipo III.** La mayoría de los organismos mueren jóvenes y solo unos pocos miembros de la población sobreviven hasta la edad reproductiva. Sin embargo, esos pocos individuos que sobreviven suelen llegar a las últimas etapas de su ciclo de vida y mueren a una edad avanzada. Dicho de otro modo, los organismos del tipo III mueren jóvenes. Las ranas pertenecen a esta categoría, ya que gran parte de los renacuajos son víctimas de otros animales antes de que alcancen la edad adulta (cuando pueden reproducirse).

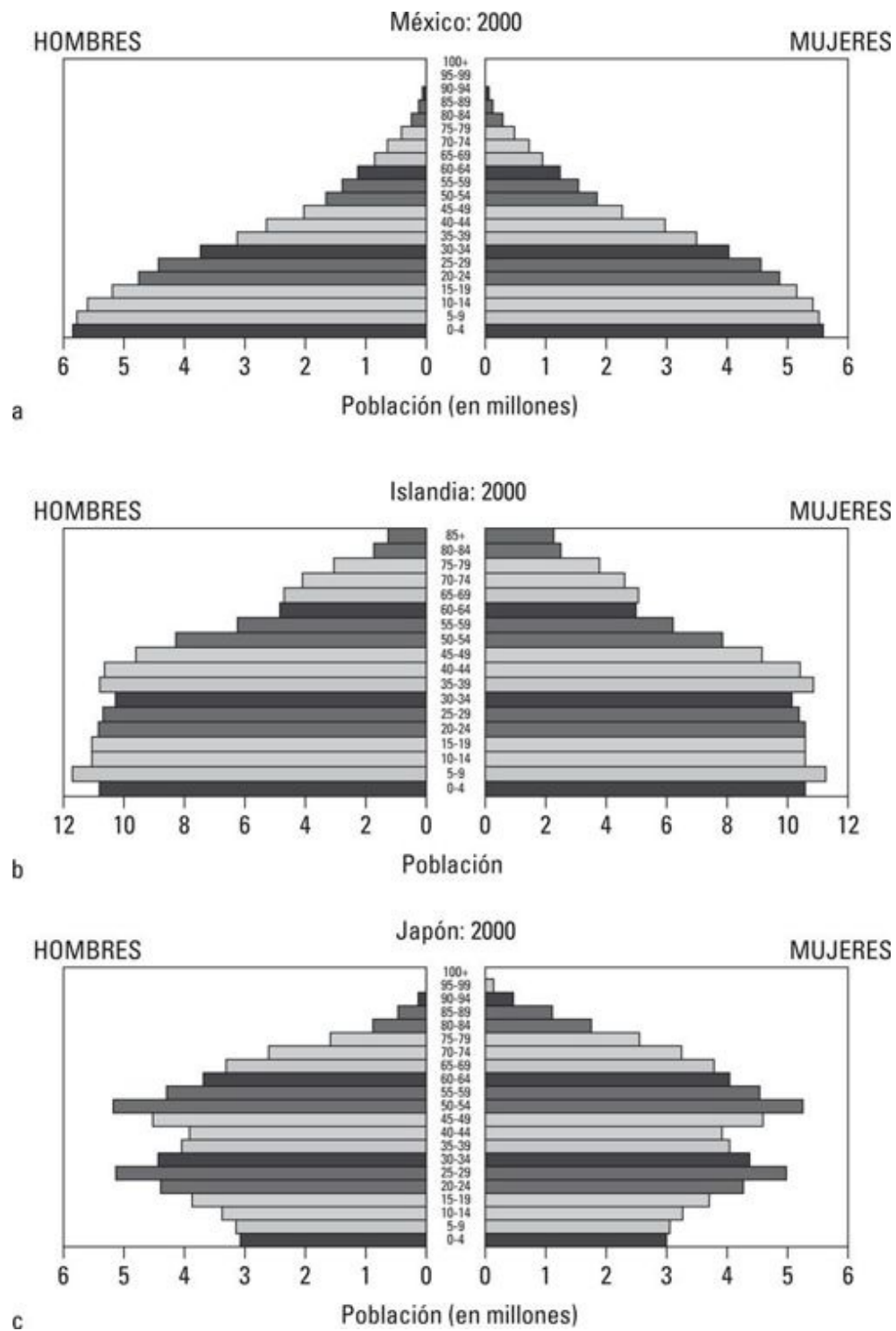


Figura 11-2:
Las pirámides demográficas representan los grupos de edad de una población.

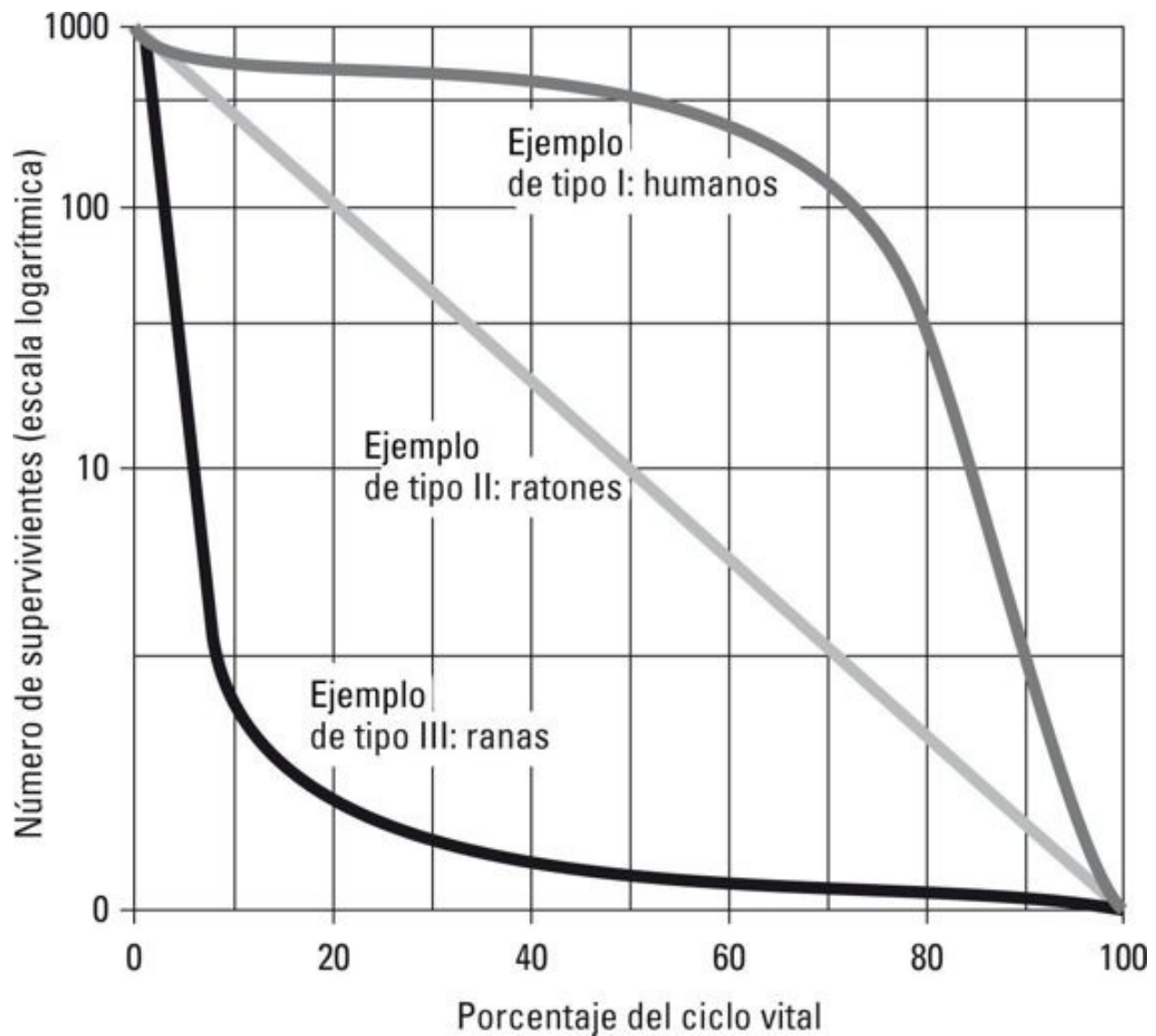


Figura 11-3:
Una curva de supervivencia.

El crecimiento de las poblaciones

Las poblaciones pueden crecer exponencialmente cuando los organismos tienen más de un descendiente. ¿Por qué? Porque esos descendientes a su vez tienen descendientes y la población se hace cada vez más grande.

Por ejemplo, supongamos que un organismo tiene tres descendientes, con lo que surge una población de cuatro organismos. Si cada uno de los tres descendientes originales tiene otros tres descendientes, la población aumenta

en nueve y llega a un total de 13 organismos. Si estos nueve descendientes tienen otros tres descendientes cada uno, nacen 27 individuos más que aumentan la población hasta 40. Aunque la tasa de reproducción por individuo, la llamada *tasa de reproducción per cápita*, no varía, la población es cada vez más grande

En los siguientes apartados hablamos sobre los factores que influyen en el crecimiento de una población, cómo se puede seguir el rastro de dicho crecimiento y muchas cosas más.

El potencial biótico

La tasa de crecimiento máxima que puede alcanzar una población en condiciones ideales es lo que se llama *potencial biótico*. Las condiciones ideales se dan cuando las especies no tienen que competir por conseguir recursos (por ejemplo alimento o agua) y cuando no existen depredadores ni enfermedades que afecten al crecimiento de los organismos. No obstante, existen otros factores que determinan el potencial biótico:

- ✓ La edad en que los organismos son capaces de reproducirse.
- ✓ El número de descendientes que generalmente nacen tras un apareamiento exitoso.
- ✓ La frecuencia con que se reproducen los organismos.
- ✓ El período durante el cual son capaces de reproducirse.
- ✓ El número de descendientes que sobreviven hasta la edad adulta.

Las bacterias, por ejemplo, tienen un potencial biótico muy alto. Muchas son capaces de reproducirse en menos de una hora y sus descendientes están listos para empezar a reproducirse también nada más ser creados. Si una célula de *Escherichia coli* pudiera crecer sin límites durante tan solo 48 horas, ¡la población de bacterias resultante pesaría tanto como la propia Tierra!

Factores que influyen en el crecimiento de una población



El crecimiento de una población puede verse limitado por diversos factores ambientales que los ecólogos poblacionales dividen en dos categorías:

- ✓ Los **factores dependientes de la densidad** son los que tienen más probabilidad de limitar el crecimiento a medida que la densidad de la población aumenta. Por ejemplo, si una población es muy grande, puede que no haya suficiente comida, agua o lugares de nidificación, con lo cual disminuye el número de organismos que logran sobrevivir y reproducirse. Esta baja tasa de natalidad se combina con la tasa de mortalidad mayor, y el crecimiento de la población se ralentiza.
- ✓ Los **factores independientes de la densidad** limitan el crecimiento pero no guardan relación con la densidad de la población. Una sequía, una inundación, un terremoto o cualquier otro fenómeno inesperado y no regular produce la muerte de muchos individuos con independencia del tamaño de la población.

Algunas poblaciones pueden permanecer muy estables debido a estos factores, mientras que otras experimentan fluctuaciones.

- ✓ Las **poblaciones que dependen de recursos limitados fluctúan más que las poblaciones que disponen de recursos abundantes**. Si una población depende mucho de un tipo de alimento, por ejemplo, y ese alimento deja de estar disponible, la tasa de mortalidad se disparará.
- ✓ Las **poblaciones que presentan una tasa baja de reproducción son más estables que las que presentan una tasa alta**. Los organismos con tasa elevada de reproducción pueden causar incrementos rápidos de la población si las condiciones varían. Los organismos con tasa baja de reproducción no experimentan estos auges repentinos; la tasa de crecimiento de la población es bastante estable.
- ✓ Las **poblaciones pueden aumentar y disminuir a causa de interacciones entre depredadores y presas**. Cuando las presas

abundan, el número de depredadores crece hasta que terminan por cazar a casi todas las presas. Cuando eso ocurre, la población de presas disminuye bruscamente. Como resultado, los depredadores empiezan a morir de hambre y su población también cae en picado. Ante esa situación, las presas tienen la oportunidad de recuperarse, de modo que su población aumenta y el ciclo vuelve a comenzar.

Alcanzar la capacidad de carga



Cuando una población llega a su *capacidad de carga*, es porque se ha alcanzado el número máximo de organismos de una población que pueden sobrevivir en un lugar.

A medida que una población se aproxima a la capacidad de carga de un ambiente en particular, los factores dependientes de la densidad tienen un efecto mayor y el crecimiento de la población se frena abruptamente. Si la capacidad de carga se supera, aunque sea temporalmente, el hábitat puede resultar dañado, lo cual reduce todavía más la cantidad de recursos disponibles y conduce a una mayor mortalidad. Esta situación reduce el tamaño de la población hasta que deja de superarse la capacidad de carga. Sin embargo, si el hábitat sufre daños, puede que la capacidad de carga disminuya todavía más, en cuyo caso harán falta más muertes para que el equilibrio se restablezca.

Representar gráficamente las tasas de crecimiento

Para encontrar un sentido a los datos referidos a una población, los científicos a menudo utilizan gráficos. Una *curva de crecimiento en forma de J*, como la representada en la figura 11-4a, ilustra un *crecimiento exponencial*. Dicho de otro modo: muestra que una población está creciendo a un ritmo constante (las tasas de natalidad y mortalidad son constantes). En la naturaleza, las poblaciones pueden experimentar un crecimiento exponencial durante un breve período, pero luego los factores ambientales limitan la velocidad de crecimiento.

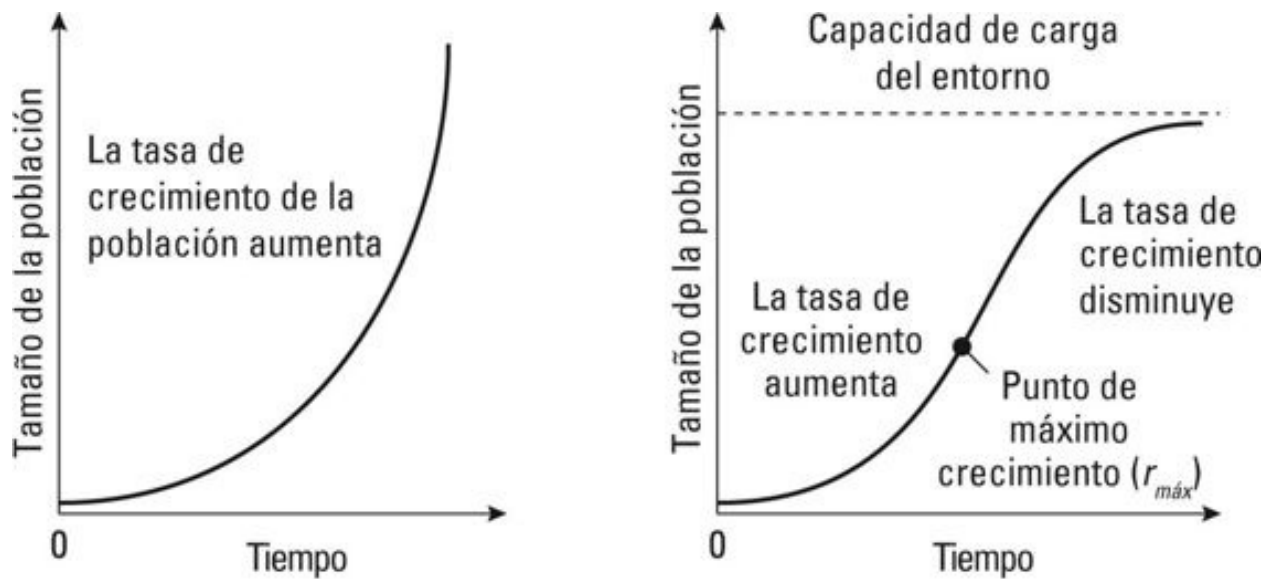
Una *curva de crecimiento con forma de S*, como la representada en la figura 11-4b, ilustra un *crecimiento logístico*, es decir, aquel que se produce cuando el tamaño de la población se ve afectado por factores ambientales. En este caso, el ritmo de crecimiento es alto cuando la densidad de población es baja, y disminuye a medida que la densidad de la población aumenta.

Pintar con números: usar la estadística para obtener una imagen del crecimiento de una población

La ecología de poblaciones se sirve de la estadística para representar el crecimiento de las poblaciones. El crecimiento natural de una población (r) es igual a la tasa de natalidad per cápita (b) menos la tasa de mortalidad per cápita (d), es decir: $r = b - d$.

Si se está produciendo una *migración*, es decir, si los organismos se están trasladando de un lugar a otro, la inmigración se suma a la tasa de natalidad y la emigración se suma a la tasa de mortalidad. Cuando las condiciones son óptimas, la tasa de crecimiento alcanza su máximo y entonces se llama *tasa intrínseca de crecimiento*, o $r_{\text{máx}}$. Cada especie tiene su propio valor característico para $r_{\text{máx}}$. Por ejemplo, aunque las condiciones sean óptimas, la $r_{\text{máx}}$ de los elefantes jamás se acercará a la $r_{\text{máx}}$ de una bacteria.

La tasa de crecimiento de una población en un momento determinado puede calcularse multiplicando la tasa intrínseca de crecimiento ($r_{\text{máx}}$) por el número de individuos de la población (n). Es decir: $\Delta n / \Delta t = nr_{\text{máx}}$.



a Crecimiento exponencial (sin limitaciones) b Crecimiento logístico (limitado)

Figura 11-4:

Curvas de crecimiento de población.

Una mirada cercana a la población humana

No existe ninguna duda: los seres humanos somos la población dominante en la Tierra y nuestro número continúa en aumento. Es importante que entiendas que nuestra población está creciendo como resultado del impacto de los seres humanos en el planeta y en el resto de las especies que habitan en él. En los siguientes apartados nos detenemos en esta cuestión y te mostramos una herramienta especialmente desarrollada para estudiar el crecimiento de la población humana.

La explosión demográfica de los seres humanos

Hasta hace más o menos mil años, el crecimiento de la población humana era muy estable. Conseguir comida no era tan fácil como ahora. No había antibióticos para combatir infecciones bacterianas ni vacunas para prevenir enfermedades mortales ni plantas depuradoras para potabilizar el agua. La gente no se duchaba ni se lavaba las manos tan a menudo, de modo que las enfermedades se propagaban más fácilmente. Todos estos factores, y algunos más, causaron un incremento de la tasa de mortalidad y un descenso de la tasa

de natalidad de la población humana.

Sin embargo, en los últimos 100 a 200 años el abastecimiento de alimentos ha mejorado y la higiene y las medicinas han reducido el número de fallecimientos por enfermedades comunes.

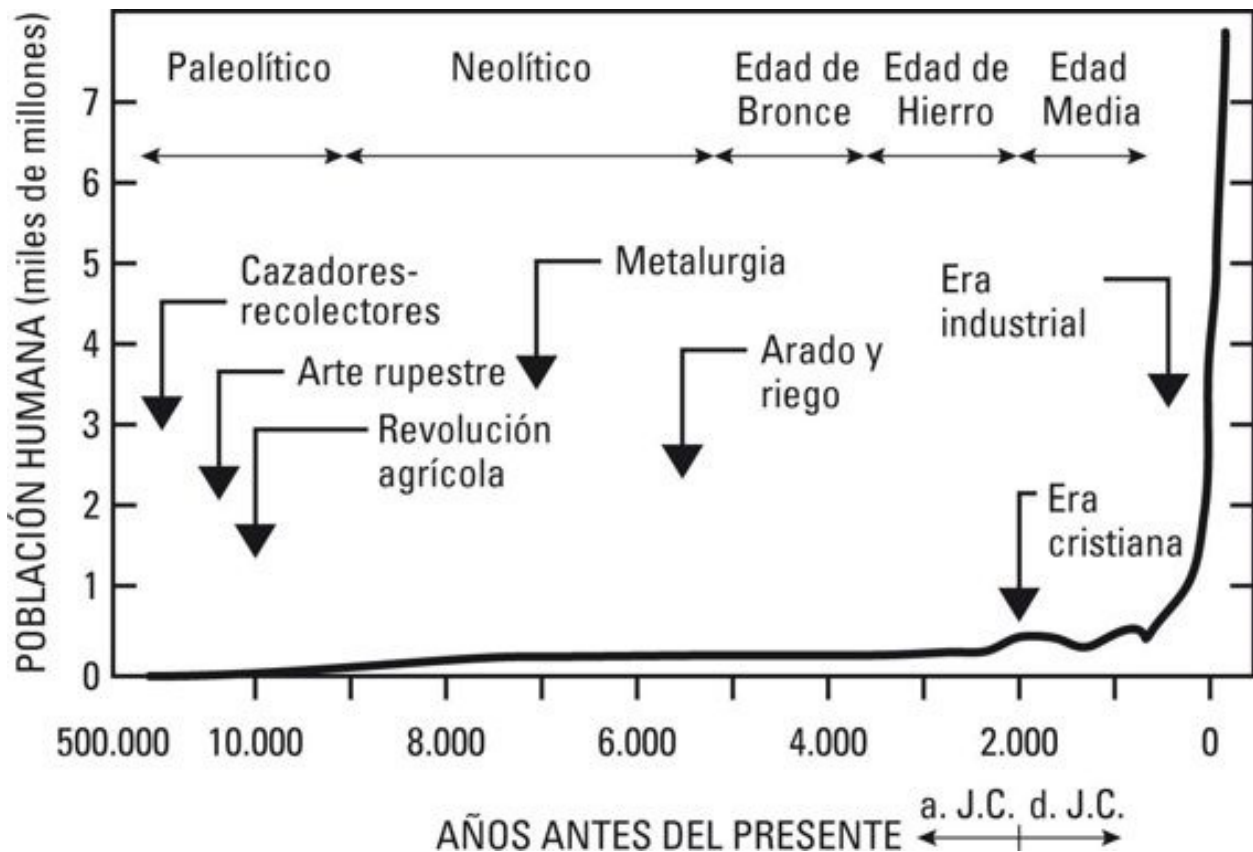


Figura 11-5:
Crecimiento de la población humana.

Por lo tanto, ahora no solo nace más gente, sino que un porcentaje mayor sobrevive hasta superar con creces la mediana edad. Como puedes ver en la figura 11-5, la población humana ha crecido de forma exponencial en la historia relativamente reciente.

Si la figura 11-5 no te impresiona, aquí tienes algunas estadísticas que quizá sí lo hagan:

- ✓ La población humana se dobló en los cuarenta años que transcurrieron entre 1950 y 1990.

- ✓ Cada segundo nacen tres personas.
- ✓ La Tierra superó los 6.000 millones de habitantes a finales del siglo xx.

Si el ritmo de crecimiento actual se mantiene, la población humana alcanzará la cifra de entre 8.000 y 12.000 millones a finales del siglo XXI. Párate un momento a pensar en ello. ¿Cómo sería tu vida si en la Tierra hubiera el doble de habitantes que ahora?

Los científicos no están seguros de que nuestro planeta pueda satisfacer el mismo ritmo de consumo del primer mundo para toda la población del planeta. La capacidad de carga exacta de la Tierra para los seres humanos se desconoce porque, a diferencia de otras especies, los humanos pueden usar la tecnología para aumentar la capacidad de carga del planeta para su especie. Actualmente los científicos estiman que los seres humanos están utilizando en torno al 19 por ciento de la *producción primaria* de la Tierra, que es la capacidad que tienen los seres vivos fotosintetizadores para producir alimentos. Además, los seres humanos utilizan, aproximadamente, la mitad del agua dulce que hay en el mundo. Si continuamos consumiendo más y más recursos de la Tierra, la mayor competencia conducirá a muchas otras especies a la extinción (esta presión de los seres humanos ya es una amenaza para muchas especies, por ejemplo gorilas, guepardos, leones, tigres, tiburones y ballenas), así como a disputas entre los propios seres humanos por conseguir una mayor porción de esos bienes.

El modelo de transición demográfica

La población humana crece de una manera un poco más compleja que las poblaciones de otros organismos. En el crecimiento de las poblaciones humanas influyen la tecnología, la educación y otros factores. Las naciones ricas e industrializadas han alcanzado una etapa de *crecimiento cero de la población*, es decir, en esos países la tasa de natalidad es casi igual a la de mortalidad. Por otro lado, las naciones más pobres y menos industrializadas tienen una tasa de natalidad muy elevada en relación con su tasa de mortalidad, de modo que sus poblaciones crecen rápidamente.

Los demógrafos han desarrollado un *modelo de transición demográfica* para identificar las etapas por las que pasa la población humana en cualquier país

hasta que se estabiliza. Tomando como base la historia humana del último siglo, el proceso que culmina con una transición demográfica completa consta de cuatro fases (fíjate en la figura 11-6):

- ✓ **Fase 1.** Las tasas de natalidad y mortalidad son altas. Todavía no existen condiciones sanitarias básicas y un sistema médico moderno que disminuyan la tasa de mortalidad y aumenten la longevidad. La transición demográfica no ha empezado aún.
- ✓ **Fase 2.** Las mejoras en la medicina, la salud pública, la sanidad y la educación reducen la tasa de mortalidad, pero la economía continúa favoreciendo una elevada tasa de natalidad. En México, por ejemplo, la agricultura todavía tiene un gran peso en la economía y por eso hay muchas familias numerosas.
- ✓ **Fase 3.** La mayor urbanización reduce la necesidad de familias numerosas, y el coste de criar y educar a los hijos favorece que haya menos nacimientos. La tasa de natalidad cae rápidamente y se acerca a la de mortalidad. No obstante, la población continúa creciendo, ya que las generaciones anteriores alcanzan la edad reproductiva. Cuando un país pasa de la fase 2 a la fase 3, experimenta una transición demográfica parcial.
- ✓ **Fase 4.** La población se estabiliza, la tasa de natalidad y la de mortalidad se igualan. Cuando un país alcanza la fase 4, la transición demográfica se ha completado.

El modelo de transición demográfica

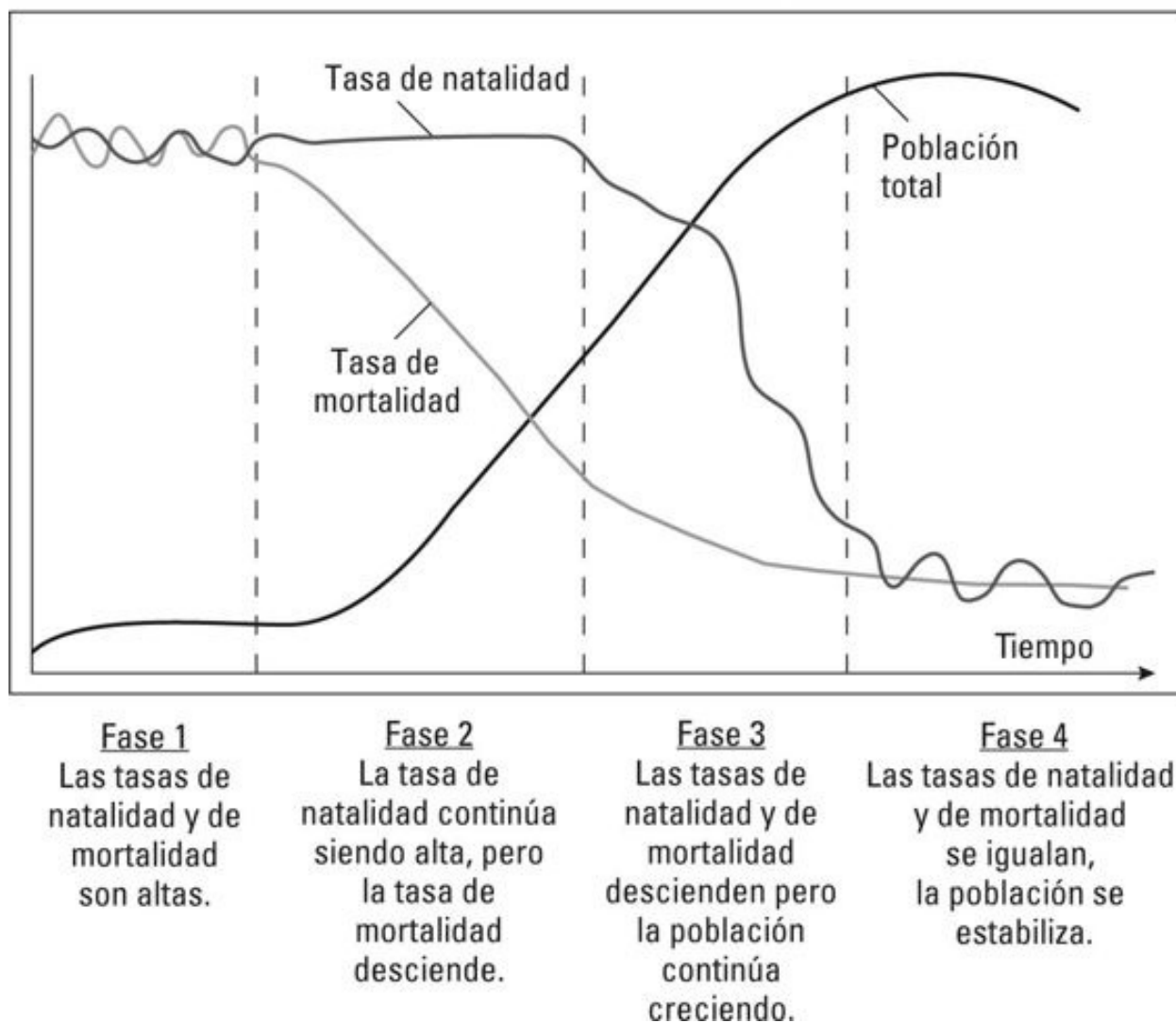


Figura 11-6:
Modelo de transición demográfica.

La energía y la materia circulan en un ecosistema

Los organismos interactúan con su entorno y con otros organismos para obtener energía y materia que les permitan crecer. Las interacciones entre organismos dan lugar a relaciones complejas.



Una de las maneras de interaccionar entre sí es comiéndose unos organismos a otros. De hecho, todos los seres vivos de un ecosistema pueden dividirse en cuatro categorías, llamadas *niveles tróficos*, en función del modo en que obtienen su alimento:

- ✓ Los **productores** fabrican su propia comida. Las plantas, las algas y las bacterias fotosintetizadoras son ejemplos de productores que utilizan la energía del sol y combinan dióxido de carbono del aire y agua del suelo para sintetizar hidratos de carbono a través de la fotosíntesis. Los productores también se denominan *autótrofos* (en el capítulo 5 encontrarás más información sobre los autótrofos y sobre el proceso de fotosíntesis).
- ✓ Los **consumidores primarios** se comen a los productores. Como los productores son en su mayoría plantas, los consumidores primarios también se llaman *herbívoros* (animales que comen plantas).
- ✓ Los **consumidores secundarios** se comen a los consumidores primarios. Como los consumidores primarios son en su mayoría animales, los consumidores secundarios también se llaman *carnívoros* (animales que comen carne).
- ✓ Los **consumidores terciarios** se comen a los consumidores secundarios, de manera que también se consideran carnívoros.

Los distintos niveles tróficos son los eslabones de la llamada *cadena trófica*, una corriente de energía y materia que se establece en todo ecosistema, de forma que excepto los productores primarios, que son autótrofos, todo organismo se alimenta de otro. Además, todo ser vivo de la cadena es alimento de otro. La figura 11-7 muestra una cadena trófica simple.

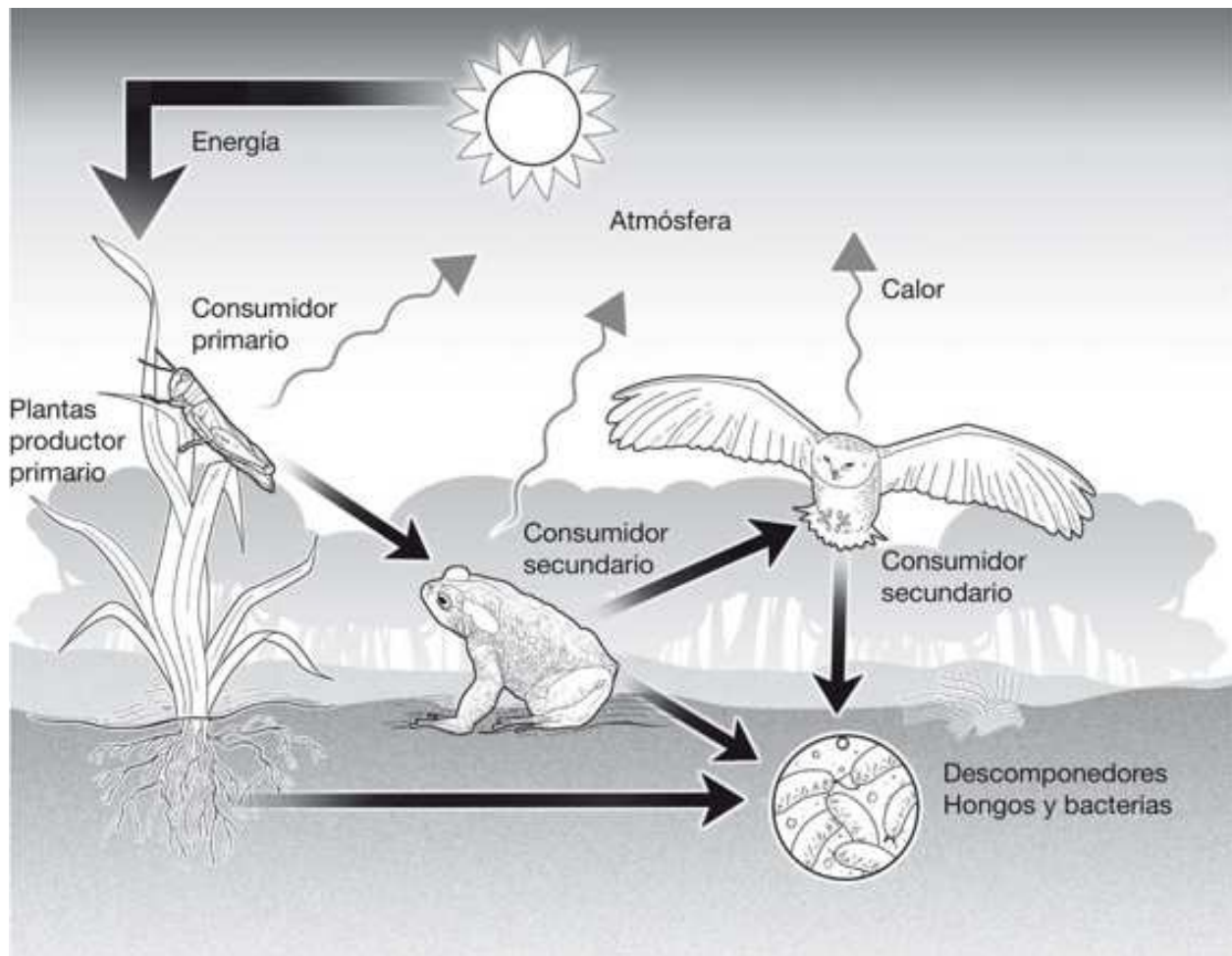


Figura 11-7:

El flujo de energía de un ecosistema puede llegar a pasar por tres o cuatro niveles de consumidores.



Las interacciones que tienen lugar en un ecosistema van más allá de las representadas en una cadena trófica simple por las siguientes razones:

- ✓ **Algunos organismos se alimentan en más de un nivel trófico.** Aunque no sea un ejemplo sacado del medio natural, tú de vez en cuando te comes una porción de pizza de jamón. La harina con la que se hace la masa proviene de una planta, de manera que cuando te comes la base de la pizza estás actuando como un consumidor primario. El jamón, en cambio, proviene de un animal, de manera que cuando te lo comes estás actuando como un consumidor secundario.

- ✓ **Algunos organismos comen más de un tipo de alimento.** Cuando te zampas una porción de pizza de jamón, te estás alimentando de plantas y de animales. Los organismos que comen plantas y animales, como hacen los seres humanos, se llaman *omnívoros*. En el medio natural no abundan, pero, por ejemplo, sí son muchos los que comen insectos y también gusanos. En ese sentido los organismos que comen más de un tipo de organismos o son alimento para más de un tipo de organismos pertenecen a más de una cadena trófica. El conjunto de las cadenas tróficas de un ecosistema se llama *red trófica*.
- ✓ **Algunos organismos obtienen su alimento descomponiendo materia orgánica.** Los *descomponedores*, que son sobre todo las bacterias y los hongos, descomponen los restos de otros organismos y esa materia les sirve de alimento. Al mismo tiempo, reciclan esa materia que se reintegra al suelo y así queda disponible para ser utilizada de nuevo por los organismos autótrofos. Los *detritívoros*, por ejemplo gusanos, algunos insectos y buitres, también se alimentan de materia orgánica muerta.

En los apartados siguientes explicamos con detalle cómo pasa la energía y la materia de un organismo a otro en un ciclo sin fin que es esencial para la supervivencia de la vida en este planeta.

El flujo de la energía

La energía que necesitan los seres vivos circula de un organismo a otro a través del alimento. Ese flujo de energía se rige por una serie de principios, el más importante de los cuales quizá sea que un organismo nunca llega a aprovechar toda la energía que obtiene con el alimento.

En los siguientes apartados revelamos los principios por los que se rige la energía y cómo se mide el flujo de energía entre los niveles de la cadena trófica.

Principios de la energía

Las interacciones entre los organismos de un ecosistema se basan en unos

principios fundamentales:

- ✓ **La energía no se crea ni se destruye, se transforma.** Este axioma es una ley fundamental del universo, llamada *primer principio de la termodinámica*. La consecuencia de esta ley es que todo ser vivo debe obtener la energía de algún sitio, porque ninguno puede fabricar por sí mismo la energía que necesita, ni siquiera los productores pueden hacerlo, sino que captan la energía lumínica y con ella y la materia que absorben del aire y del suelo sintetizan las moléculas que necesitan.
- ✓ **Cuando la energía se mueve de un lugar a otro, se transfiere.** Cuando un consumidor primario se come un productor, la energía que estaba almacenada en el cuerpo del productor se transfiere al consumidor primario.



Cuando describas transferencias de energía, debes decir de dónde viene la energía y adónde va.

- ✓ **Cuando la energía cambia de una forma a otra, se transforma.** Cuando las plantas realizan la fotosíntesis, absorben energía lumínica del Sol y la convierten en energía química almacenada en hidratos de carbono. Por lo tanto, durante la fotosíntesis la energía lumínica se transforma en energía química.



Cuando describas transformaciones de energía, debes decir en qué forma se encuentra la energía antes y después de la transformación.

- ✓ **Cuando la energía se transfiere de un ser vivo a otro, parte de esa energía se transforma en energía calorífica.** Este principio es una forma de enunciar otra ley del universo, llamada *segundo principio de la termodinámica*. La consecuencia de esta ley en los ecosistemas es que ninguna transferencia de energía tiene una eficiencia del ciento por ciento. Cuando la energía se ha convertido en calor, ya no sirve como fuente de energía para los seres vivos. De hecho, solo en torno al 10 por

ciento de la energía disponible en un nivel trófico puede ser aprovechada por el siguiente nivel trófico.



El segundo principio de la termodinámica tiene amplias repercusiones sobre la energía y puede enunciarse de diferentes maneras. En relación con procesos biológicos suele enunciarse de la siguiente forma: “De manera espontánea, todas las reacciones químicas se producen en la dirección que aumenta el desorden (llamado *entropía*) del universo”. Esto significa que cualquier proceso que haga las cosas más azarosas (por ejemplo descomponer moléculas o diseminarlas al azar en una zona) puede ocurrir sin gasto de energía. Esta tendencia del universo a ser más aleatorio también se aplica a la distribución de la energía. Las moléculas de alimento representan una forma de energía muy concentrada (por eso a los seres vivos les gustan tanto). El calor, en cambio, es una forma de energía mucho más dispersa o aleatoria. Por lo tanto, tal como dice el segundo principio de la termodinámica, si la energía de las moléculas de alimento se transfiere, parte de esa energía se dispersa, es decir, se transforma en energía calorífica.

Puede que oigas decir que la energía se pierde o que la energía se pierde en forma de calor. Estas afirmaciones pueden inducir a error, ya que dan a entender que la energía desaparece de algún modo. Sin embargo, por el primer principio de la termodinámica sabes que la energía no puede destruirse ni desaparecer. La interpretación correcta de ese tipo de afirmaciones es que la energía útil se transforma en calor y escapa del sistema. Dicho de otro modo: después de que la energía se haya transformado en calor, los organismos de un ecosistema no pueden utilizarla como fuente de energía para crecer.



Cuando hables de energía, no digas nunca que desaparece, que se destruye o que se crea. Di mejor que se transfiere o se transforma, y así evitarás muchas confusiones y te expresarás con más precisión.

La pirámide de la energía

Los científicos utilizan la *pirámide de la energía* (también llamada *pirámide trófica*; mira la figura 11-8) para ilustrar el flujo de energía de un nivel trófico al siguiente. La pirámide de la energía muestra la cantidad de energía en cada nivel trófico en relación con el siguiente nivel trófico; a eso los ecólogos lo denominan *eficiencia ecológica*. Para estimar la eficiencia ecológica, los ecólogos utilizan una regla empírica llamada *regla del diez por ciento*, según la cual tan solo el 10 por ciento, aproximadamente, de la energía disponible en un nivel trófico se transfiere al siguiente nivel.

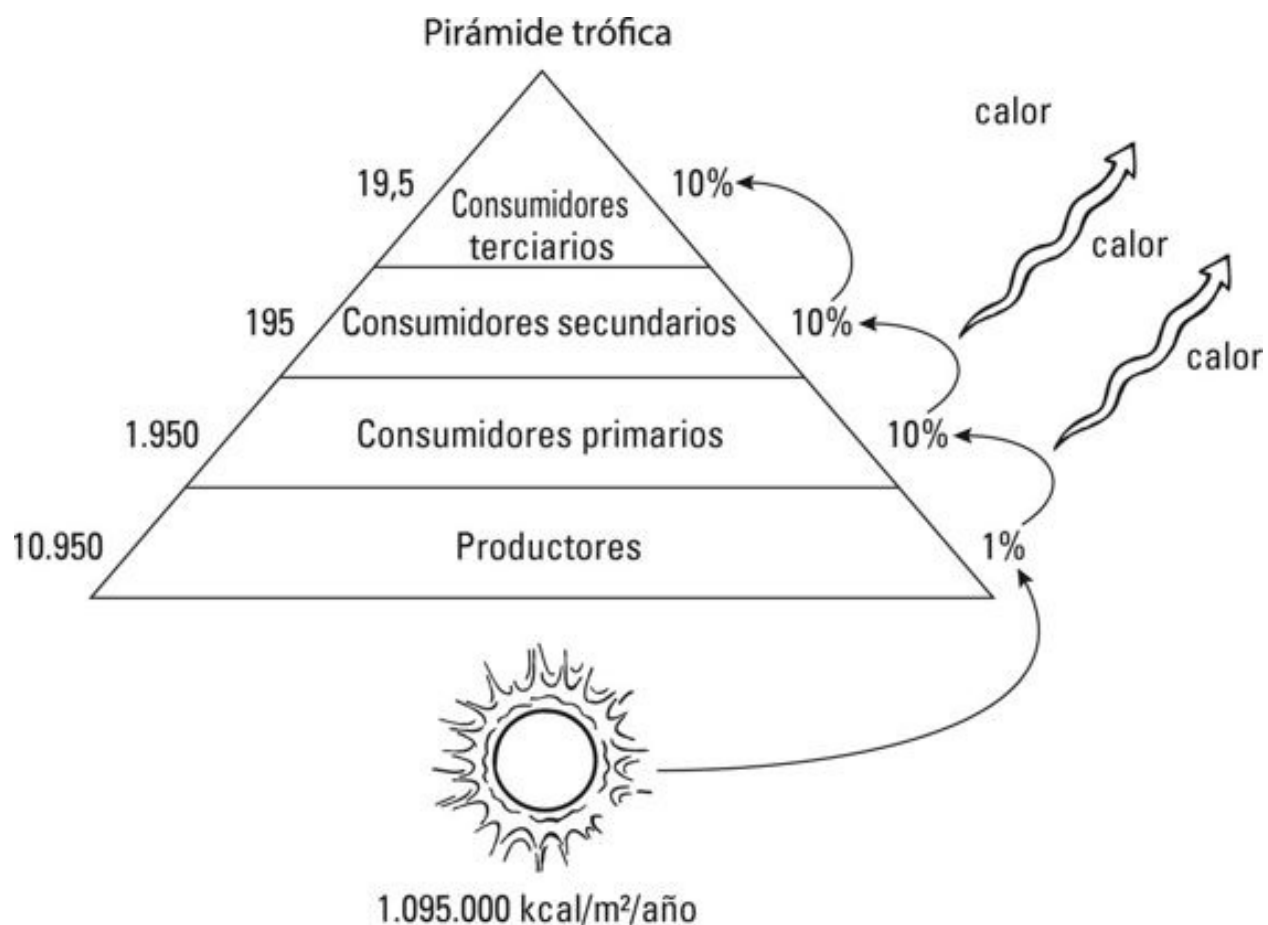


Figura 11-8:
La pirámide trófica.

Si te fijas en la figura 11-8, verás que la energía va del Sol a la Tierra. Aproximadamente el 1 por ciento de la energía disponible para los productores es capturada y almacenada en forma de alimento. Los productores

crecen y buena parte de su energía acumulada se transfiere a moléculas de ATP, destinado al trabajo celular (tal y como explicamos en el capítulo 5), y a las moléculas que forman los organismos físicamente. Cuando los productores primarios transfieren energía para crecer, una parte de esa energía se transforma en calor que escapa al medio.

Aproximadamente el 10 por ciento de la energía que estaba almacenada originalmente en los productores es transferida a los consumidores primarios cuando estos se comen a aquellos. Igual que ocurría con los productores, los consumidores primarios crecen y transfieren la energía que han capturado a moléculas de ATP y a otras que forman sus cuerpos, y en esos procesos una parte de la energía se transforma en calor que escapa al medio. Este proceso se repite cuando los consumidores secundarios se comen a los consumidores primarios y cuando los consumidores terciarios se comen a los consumidores secundarios. Cada nivel trófico recibe, aproximadamente, el 10 por ciento de la energía originalmente capturada por el organismo consumido, y cuando el consumidor utiliza la energía para crecer, transfiere una parte de ella al medio en forma de calor.

Pero la pirámide trófica no termina aquí. Cuando los organismos mueren, sus restos pasan a formar parte del entorno. Los descomponedores y los detritívoros utilizan esa materia orgánica muerta como fuente de alimento; transfieren energía a su ATP y sus otras moléculas, y ceden algo de energía al medio en forma de calor, como todos los otros seres vivos.

Por lo general, el nivel más alto de las cadenas y las pirámides tróficas es el de los consumidores terciarios. Eso se debe, precisamente, a la salida de energía del sistema (en forma de calor). A partir del nivel de los consumidores terciarios, el sistema ha perdido demasiada energía como para sostener otro nivel.

Los ciclos de la materia

Los alimentos no solo proporcionan energía a los seres vivos (como hemos explicado anteriormente en este mismo capítulo), sino que, además, suministran la materia que necesitan los organismos para crecer, repararse a sí

mismos y reproducirse. Por ejemplo, tú ingieres alimentos que contienen proteínas, hidratos de carbono y grasas, y tu cuerpo está hecho de proteínas, hidratos de carbono y grasas (en el capítulo 3 encontrarás más información sobre estas moléculas). Cuando comes, descompones los alimentos mediante la digestión (descrita en el capítulo 16) y luego distribuyes las moléculas de esos alimentos por todo el cuerpo mediante la circulación (descrita en el capítulo 15), para que todas las células reciban alimento. Llegados a ese punto, las células tienen dos opciones:

- ✓ Pueden obtener energía de los alimentos descomponiéndolos en dióxido de carbono y agua mediante la respiración celular (de la que se habla en el capítulo 5).
- ✓ Pueden reorganizar las moléculas de los alimentos para sintetizar las moléculas que forman el cuerpo.

Sí, esa segunda opción significa que eres lo que comes. Bueno... casi. Las moléculas de los alimentos no se utilizan directamente para fabricar células, sino que primero las descompones y luego utilizas los trozos para fabricar lo que necesitas. Dicho de otro modo: tus células están hechas de moléculas humanas reconstruidas a partir de los componentes de moléculas procedentes de las plantas y los animales que te has comido. Así pues, en realidad estás hecho de moléculas que has reciclado de la comida (y los seres vivos que luego se convirtieron en tu alimento también consiguieron sus moléculas tras reciclarlas de otro lugar).



Piensa en todo lo que forma una porción de pizza de jamón. La masa se hace con harina, procedente de plantas, y el jamón viene de un cerdo. Las plantas fabrican su propio alimento a partir de dióxido de carbono y agua, y luego utilizan ese alimento para construir sus estructuras. Por lo tanto, la planta que acabó en la masa de la pizza consiguió los componentes que necesitaba para construir su cuerpo tomando dióxido de carbono del aire y agua del suelo. Los cerdos consiguen sus moléculas de lo que sea que el granjero les eche para comer, probablemente algún tipo de pienso. Aunque sea

una reducción muy simplista, puedes pensar que después de comerte una porción de pizza de jamón, algunos de los átomos que forman tu cuerpo vienen del dióxido de carbono del aire, el agua del suelo, y el pienso que dieron de comer a los cerdos.



Uno de los datos más fascinantes sobre la Tierra es que casi toda la materia que hay actualmente en el planeta lleva aquí desde el momento en que la Tierra se formó. Eso significa que todo el carbono, todo el hidrógeno, todo el oxígeno, todo el nitrógeno y todos los otros elementos que forman las moléculas de los seres vivos se han reciclado una y otra vez a lo largo de los siglos.

Por esta razón los ecólogos dicen que la materia circula en el ecosistema de manera cíclica.

Los científicos pueden seguir la pista de los átomos reciclados a través de los *ciclos biogeoquímicos* (*bio* porque el reciclaje afecta a seres vivos, *geo* porque afecta a la Tierra y *químico* porque incluye procesos químicos). Los tres ciclos biogeoquímicos que revisten más importancia para los seres vivos son, el ciclo del carbono, el ciclo del fósforo y el ciclo del nitrógeno, y los tres están íntimamente ligados al ciclo hidrológico; porque si no circula el agua, la vida se interrumpe.

El ciclo hidrológico

Uno de los puntos clave para la vida del *ciclo hidrológico*, o *ciclo del agua*, es aquel en el que las plantas obtienen agua absorbiéndola del suelo y los animales la obtienen bebiéndola o comiéndose a otros animales que están hechos de agua en su mayor parte. El agua regresa al medio cuando las plantas transpiran (tal y como se explica en el capítulo 21). El agua evaporada va a la atmósfera y los vientos la hacen circular. Cuando el aire húmedo asciende, se enfría, el agua se condensa y regresa a la superficie de la Tierra en forma de precipitación (lluvia, nieve, aguanieve o granizo). Luego el agua se mueve por la superficie de la Tierra en masas de agua, como lagos, ríos, océanos o glaciares, y también circula por debajo del suelo.

El ciclo del carbono

El ciclo del carbono (representado en la figura 11-9) quizá sea el ciclo biogeoquímico más importante para los seres vivos, ya que todas las biomoléculas tienen carbono (en el capítulo 3 encontrarás más información sobre estas moléculas, como hidratos de carbono, proteínas y grasas). En el ciclo del carbono, las plantas toman dióxido de carbono de la atmósfera y las algas lo toman del agua, y ambos tipos de organismos lo utilizan para fabricar hidratos de carbono por medio de la fotosíntesis (explicada en el capítulo 5). Cuando un animal come plantas o algas, el carbono pasa de un nivel trófico (el de los productores) a otro (el de los consumidores primarios) y se incorpora a las moléculas del segundo. Luego los descomponedores degradan la materia muerta e incorporan ese carbono a su organismo.

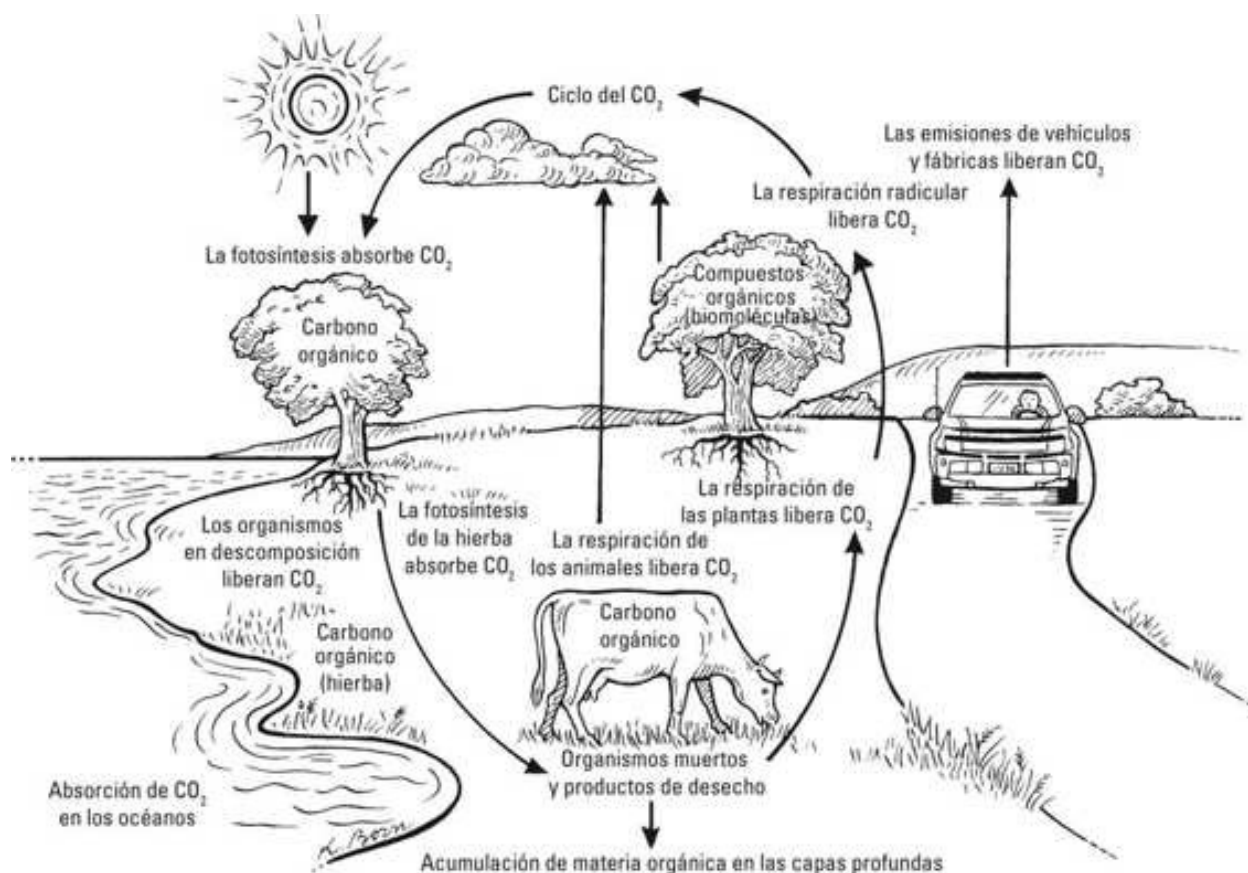


Figura 11-9:
El ciclo del carbono.

Todos estos seres vivos (productores, consumidores y descomponedores)

también utilizan los moléculas de los alimentos como fuente de energía, descomponiéndolas en dióxido de carbono y agua mediante el proceso de la respiración celular (que ya sabes que se explica en el capítulo 5). La respiración celular devuelve los átomos de carbono al medio en forma de dióxido de carbono; esos átomos vuelven a estar disponibles para la fotosíntesis que llevan a cabo los productores.



El almacenamiento de carbono en los seres vivos (en forma de proteínas, hidratos de carbono y grasas) es temporal. El carbono puede almacenarse en el medio durante períodos muy largos.

- ✓ Las grandes masas forestales representan un almacén importante de carbono, pero pasa rápidamente al medio en forma de dióxido de carbono cuando se tala el bosque o se produce un incendio.
- ✓ Los combustibles fósiles contienen carbono que hace mucho tiempo formó parte de seres vivos, sobre todo algas. Esos seres quedaron atrapados en el sedimento y las proteínas, los hidratos de carbono y las grasas se convirtieron en depósitos de carbón, petróleo y gas natural. Con el elevado consumo de combustibles fósiles almacenado, estamos devolviendo ese carbono rápidamente a la atmósfera en forma de dióxido de carbono, cuya concentración atmosférica ha alcanzado ya el nivel más alto jamás registrado.
- ✓ El carbono también se almacena en los océanos de todo el mundo en forma de dióxido de carbono disuelto. De hecho, el mar es el principal sumidero de dióxido de carbono. El agua caliente alberga menos dióxido de carbono que el agua fría, de manera que parte de este carbono puede regresar a la atmósfera si las temperaturas de los océanos aumentan como resultado del calentamiento global.

El ciclo del fósforo

El fósforo es un componente fundamental de las moléculas que forman los seres vivos. Se encuentra en el adenosintrifosfato (ATP), la molécula almacenadora de energía de todos los seres vivos, y también en la estructura

de las moléculas de ADN y ARN. Las plantas obtienen fósforo mediante la absorción de fosfato inorgánico disuelto en el agua que capturan del suelo. Por su parte, los animales obtienen fósforo cuando comen plantas u otros animales. El fósforo se excreta a través de los productos de desecho creados por los animales. Entonces los descomponedores lo devuelven al suelo al degradar la materia orgánica muerta. Cuando el fósforo se reincorpora al suelo, es absorbido de nuevo por las plantas o bien pasa a formar parte de las capas de sedimentos que terminan formando rocas. Cuando las rocas se erosionan por la acción del agua, el fósforo se disuelve en el agua y se mezcla con el suelo.

El ciclo del nitrógeno

El nitrógeno forma parte de los aminoácidos, que componen las proteínas, y también está presente en el ADN y el ARN (en el capítulo 3 encontrarás más información sobre estas moléculas). Asimismo, el nitrógeno existe en varias formas inorgánicas que hay en el medio, por ejemplo nitrógeno gaseoso (en la atmósfera) y amoníaco o nitratos (en el suelo).

Como el nitrógeno existe en tantas formas, el ciclo del nitrógeno (representado en la figura 11-10) es bastante complejo.

- ✓ **La fijación del nitrógeno tiene lugar cuando el nitrógeno atmosférico cambia a una forma que los seres vivos pueden absorber.** El nitrógeno gaseoso que hay en la atmósfera no puede incorporarse a las moléculas de los seres vivos; y por eso todos los organismos dependen de la actividad de bacterias que viven en el suelo y que se asocian con las raíces de algunas plantas. Estas bacterias fijadoras del nitrógeno convierten el nitrógeno gaseoso (N_2) en formas como el ión amonio o el ión nitrato (NH_4^+ o NO_3^-) que los organismos sí pueden aprovechar. Las plantas obtienen nitrógeno absorbiendo amoníaco y nitratos junto con el agua del suelo; y los animales obtienen nitrógeno comiendo plantas u otros animales.
- ✓ **La amonificación libera amoníaco al suelo.** Cuando los descomponedores (bacterias y hongos) degradan las proteínas de la

materia orgánica muerta, puede que no necesiten todo el nitrógeno obtenido de esas proteínas. El exceso pasa al suelo en forma de amoníaco (NH_3). En el suelo, el amoníaco se convierte en ión amonio (NH_4^+). Los productos de desecho de los animales también contienen nitrógeno en forma de urea o de ácido úrico, que las bacterias del suelo pueden convertir en amoníaco.

- ✓ **La nitrificación convierte el amoníaco en nitrito y nitrato.** Ciertas bacterias obtienen la energía convirtiendo amoníaco (NH_3) en nitrito (NO_2^-). Otras bacterias obtienen la energía convirtiendo el nitrito (NO_2^-) en nitrato (NO_3^-).
- ✓ **La desnitrificación convierte el nitrato en nitrito y nitrógeno gaseoso.** Algunas bacterias del suelo utilizan nitrato (NO_3^-), en lugar de oxígeno, para la respiración celular (en el capítulo 5 encontrarás más información sobre la respiración celular). En ese proceso el nitrato se convierte en nitrito, que se libera al suelo, o en nitrógeno gaseoso, que se libera a la atmósfera.

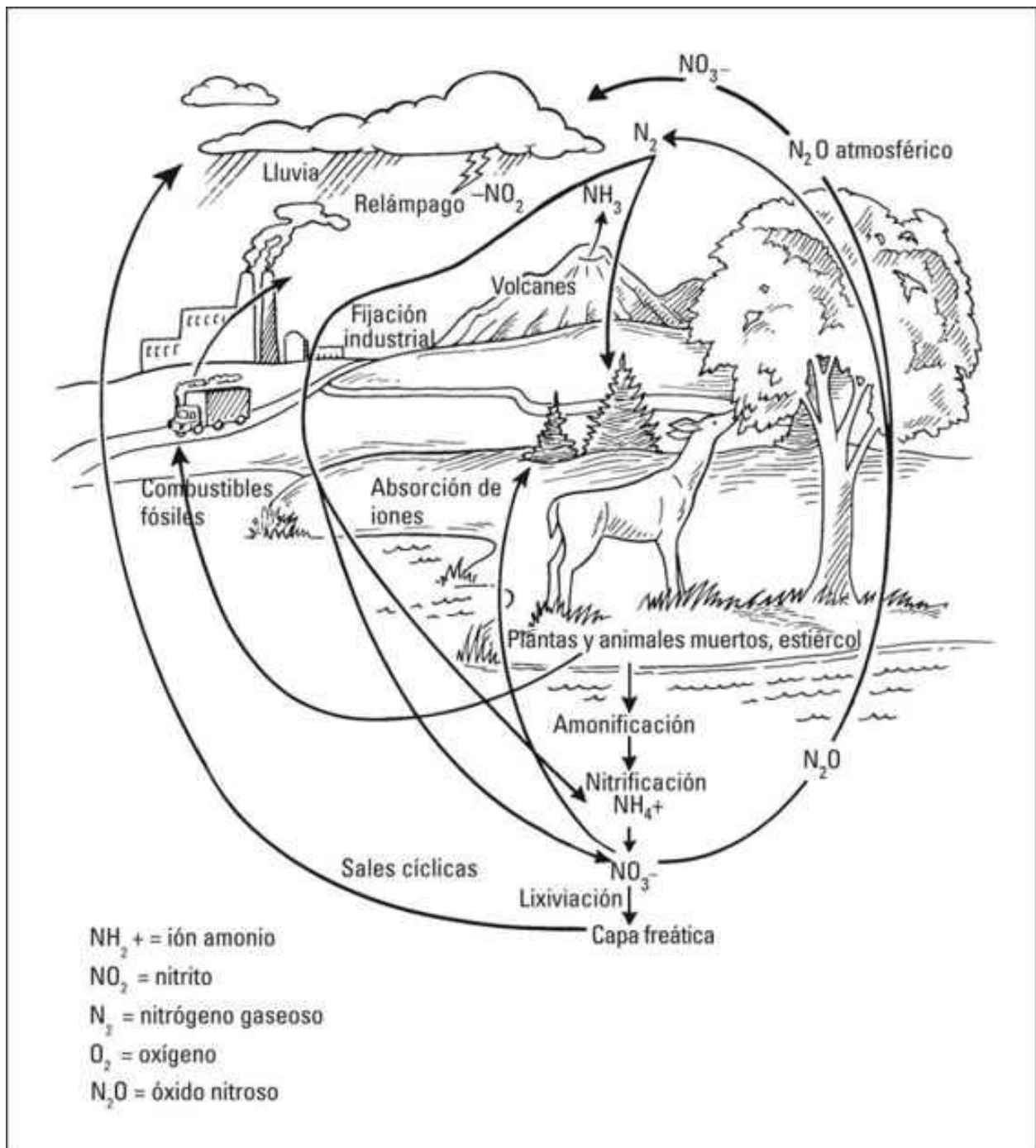


Figura 11-10:
El ciclo del nitrógeno.

Capítulo 12

Especies en evolución en un mundo cambiante

En este capítulo

- ▶ Familiarizarse con las ideas de nuestros antepasados sobre la evolución de los seres vivos
 - ▶ Conocer la teoría darwiniana de la evolución biológica y la selección natural
 - ▶ Examinar las pruebas de la evolución biológica
 - ▶ Ver las dos caras de la controversia entre creacionismo y evolución
 - ▶ Descubrir qué especies precedieron a la especie humana actual
-

Si alguna vez has estado en un museo, probablemente hayas visto fósiles de huesos o herramientas que utilizaban nuestros antepasados. Esos objetos son la prueba de que los seres humanos hemos cambiado y ampliado nuestros conocimientos a lo largo de los milenios. Es decir, nos ayudan a ver con perspectiva la evolución que ha experimentado la especie humana. Pero ¿cuál fue el punto inicial de la evolución? ¿A partir de qué evolucionaron los primeros humanos?

En este capítulo te contamos lo que se ha pensado a lo largo de la historia sobre la evolución, cómo se le ocurrió a Charles Darwin su teoría de la evolución biológica y cuál es el conocimiento actual sobre el origen de las

especies, la evolución de la especie humana y el surgimiento de la vida en la Tierra. Prepárate para asombrarte con las pruebas que los investigadores han reunido a favor de la evolución biológica y para descubrir algunos datos fascinantes sobre cómo eran antes las cosas y cómo han cambiado.

Lo que creía la gente hace tiempo

Desde la época en que la Antigua Grecia era el centro cultural del mundo hasta principios del siglo XIX, los filósofos, los científicos y la gente en general estaban convencidos de que las plantas y los animales fueron creados deliberadamente en un instante determinado y que desde entonces no había especies nuevas (esta forma de pensar se llama hoy en día *creacionismo*). Según aquel punto de vista, Dios creó a todos los seres vivos en su forma ideal con un propósito determinado. Aristóteles clasificó a todos los seres vivos en una gran cadena del ser, de lo más simple a lo más complejo, y colocó a los seres humanos en lo más alto de la cadena, justo por debajo de los ángeles y muy cerca de Dios.

También se creía que la Tierra y el universo permanecían inmutables, o estáticos, a lo largo del tiempo. Creían que Dios creó la Tierra, las estrellas y el resto de los planetas todo a la vez, y que nada había cambiado desde el principio de los tiempos. Estas ideas perduraron durante la mayor parte de la historia de la humanidad y apenas fueron cuestionadas durante la Edad Media, cuando la gente incluso aceptaba que el lugar de cada cual en la sociedad era inalterable y venía dado por el nacimiento.

A partir del siglo XV, y hasta bien entrado el XVIII, exploradores, científicos y naturalistas realizaron nuevos descubrimientos, que vinieron a cuestionar las antiguas ideas de un universo estático.

- ✓ Varios exploradores llegaron al Nuevo Mundo (el hemisferio occidental de la Tierra), donde se encontraron muchas especies diferentes de seres vivos, incluidas nuevas etnias, que antes se desconocían. El Nuevo Mundo y las personas que vivían en él no se mencionaban en la Biblia, de modo que los europeos se preguntaron si ese Nuevo Mundo había

sido creado a la vez que el Viejo Mundo y si sus habitantes eran descendientes de Adán. Esos enigmas suscitaron dudas en torno a la interpretación literal de la historia de la creación tal y como aparece en el Génesis, el primer libro de la Biblia.

- ✓ William Smith, un geólogo británico, clasificó los tipos de materiales terrestres de Gran Bretaña como preparación para la excavación de una red de canales. Smith descubrió que el suelo estaba formado por estratos de materiales diferentes, y que en cada estrato había diferentes tipos de fósiles. También observó que, cuanto más profundizaba, más diferentes eran los fósiles de las plantas y los animales que vivían en Gran Bretaña en el momento en que él vivía. Smith utilizó los fósiles como una forma práctica de identificar los diferentes estratos de sedimentos, pero también realizó estimaciones de la edad de los estratos a partir de la velocidad de la erosión y el levantamiento de las montañas.
- ✓ Georges Cuvier, naturalista francés, demostró que los restos fósiles hallados en Europa (por ejemplo los de mamuts lanudos) eran muy similares a los de otras especies existentes (en este caso, los elefantes), pero claramente no pertenecían a ningún ser vivo de la época.
- ✓ James Hutton, un geólogo escocés, propuso que la Tierra era muy antigua y que su superficie estaba en continuo cambio debido a la erosión, la deposición de sedimentos, el levantamiento de montañas y las inundaciones. Su planteamiento, llamado *uniformismo*, era que los procesos que él observaba en el siglo XVIII eran los mismos que habían ocurrido en la Tierra desde su creación.

Cómo cuestionó Charles Darwin las antiguas creencias sobre la vida en la Tierra

Charles Darwin fue un caballero inglés que en 1831 emprendió una travesía por el mundo a bordo del bergantín *Beagle* en calidad de naturalista. Era tan religioso como otras personas de su tiempo, pero también tenía una mente muy activa y curiosa, y estaba familiarizado con el saber científico de la

época. Esa mente inquisitiva, junto con los conocimientos científicos adquiridos durante su corta vida (a la sazón contaba con veintidós años de edad), ayudó a que Darwin se percatara de algo verdaderamente singular acerca de la población de pinzones de las islas Galápagos. Aquellas observaciones condujeron a dos de las teorías biológicas más importantes de todos los tiempos: la evolución de las especies y la selección natural. En los siguientes apartados hablamos sobre esas teorías y sobre lo que observó Darwin y que le dio la pista para formularlas.

Todo se lo debemos a los pájaros

Durante su travesía a bordo del *Beagle*, Darwin visitó las islas Galápagos, situadas a unos 1.000 km de la costa occidental de Sudamérica. Le sorprendió encontrar allí varias especies que eran similares a las que había en Sudamérica, pero con una serie de diferencias que les habían permitido explotar perfectamente el ambiente único de aquellas islas remotas.



Las características de un organismo que le permiten ajustarse a su medio se llaman *adaptaciones*.

Darwin decidió centrar su atención en los pájaros pinzones de las islas Galápagos. Cada isla tenía un pinzón, que era distinto de los de las otras islas y también de los pinzones que vivían en el continente. En Sudamérica, los pinzones únicamente comían semillas. En las islas, algunos pinzones comían semillas, otros comían insectos y algunos incluso se alimentaban de cactus. El pico de cada especie de pinzón estaba perfectamente adaptado a su fuente de alimento.

Darwin pensó que todos los pinzones debían de tener un antepasado común que vivió en el continente sudamericano y que llegó volando o flotando en el mar a las islas poco después de su formación, quizá durante alguna tormenta. Las islas están lo suficientemente separadas entre sí como para que los pinzones no puedan ir de una a otra, de manera que las distintas poblaciones están geográficamente aisladas. El aislamiento geográfico significa que los

pinzones de las diferentes islas tampoco pueden aparearse entre ellos y combinar sus genes (o sea, el material genético. Si no recuerdas lo que es, vuelve al capítulo 8).

Darwin propuso que cada tipo de isla tenía condiciones únicas y que en cada una de esas circunstancias eran más ventajosos unos rasgos que otros, sobre todo la forma del pico. Los pájaros cuyos rasgos les permitían obtener comida más fácilmente tenían una probabilidad mayor de sobrevivir y reproducirse, con lo que transmitían sus genes, y sus rasgos, a sus descendientes. Con el paso del tiempo, los pájaros de cada isla habían ido perdiendo algunas características de sus antepasados continentales y adquiriendo otras que les permitían adaptarse mejor a su nuevo hogar. Finalmente los pájaros de las diferentes islas se habían especializado tanto que se habían diferenciado de sus antepasados, y de los pájaros de las otras islas, hasta el punto de convertirse en una especie distinta de las otras.



Lo que Darwin observó en la población de pinzones de las islas Galápagos es un tipo de evolución biológica llamado radiación adaptativa. La *radiación adaptativa* ocurre cuando algunos miembros de una especie llegan a un nicho ecológico distinto del suyo y, al principio, encuentran muy poca competencia para conseguir los recursos disponibles. La falta de competencia permite a la especie instalarse en un nuevo ambiente y aumentar su población. Cuando la población aumenta, da comienzo la competencia por los recursos, y entonces la especie original se divide en varias especies nuevas que se adaptan a diferentes condiciones ambientales.

La teoría de la evolución biológica

La *evolución biológica* se refiere a los cambios que experimentan los seres vivos a lo largo del tiempo (no es lo mismo que evolución, que simplemente significa cambio). Darwin presentó este concepto al mundo en su libro *El origen de las especies*, publicado en 1854. En aquella obra, Darwin postuló que los seres vivos descienden de sus antepasados pero pueden cambiar con el

tiempo. En otras palabras, Darwin creía en la *descendencia con modificación*.



A la par que ocurren cambios en los seres vivos, las especies que no se adaptan a las variaciones de las condiciones ambientales pueden extinguirse. Las especies que acumulan suficientes cambios pueden acabar siendo tan diferentes de otros organismos emparentados que se convierten en una nueva especie porque ya no pueden aparearse con poblaciones relacionadas; este proceso se llama *especiación*.



Si quieres ver exactamente qué decía, el libro de Darwin *El origen de las especies* está traducido a todos los idiomas y es muy interesante y fácil de leer. Apasionante es otro de sus libros, que también encontrarás fácilmente, que relata la expedición en la que dio con sus hallazgos y las observaciones que iba realizando; se llama *El viaje del Beagle*.

La idea de la selección natural

Darwin concluyó que la evolución biológica era el resultado de la *selección natural*. Según esta teoría, en cualquier generación los individuos cuyos rasgos los hacen estar mejor adaptados a las condiciones del medio tienen más probabilidades de sobrevivir y reproducirse. Cuando un determinado rasgo mejora la capacidad de supervivencia de un organismo, se dice que el ambiente favorece ese rasgo o lo selecciona de manera natural. Por lo tanto, la selección natural actúa contra los rasgos no favorables.



La teoría de la selección natural también se conoce como “la supervivencia del más apto”. En términos biológicos, la aptitud no tiene nada que ver con la inteligencia ni con la fuerza. La aptitud biológica es básicamente estar bien adaptado y ser capaz de tener descendencia; esa

descendencia heredará los rasgos de sus progenitores, que les permitían estar mejor adaptados, y así irán perpetuándose tales rasgos. Por lo tanto, la supervivencia del más apto se refiere en realidad a la transmisión de los rasgos que permiten a los individuos sobrevivir y reproducirse.

En los siguientes apartados te ayudamos a entender la diferencia entre selección natural y artificial, por qué ocurre la selección natural y qué tipos de selección natural existen.

La selección natural frente a la selección artificial

Darwin comparó su teoría de la selección natural con la selección artificial que resulta del cultivo selectivo en agricultura o de la cría selectiva en ganadería.

- ✓ *La selección artificial* ocurre cuando una persona escoge plantas o animales que poseen unas características deseables y hace que se reproduzcan para obtener esas características en su descendencia. Los granjeros de la época de Darwin solo permitían reproducirse a las vacas que daban más leche, las gallinas que ponían más huevos y los cerdos que se hacían más grandes, con lo que crearon muchas razas de cada especie. Las razas de animales domésticos y muchas variedades de plantas han surgido en un lapso relativamente corto como resultado de las preferencias de la gente.
- ✓ *La selección natural* ocurre cuando son los factores ambientales los que hacen que sobrevivan y se reproduzcan unos organismos u otros. Si un depredador visual como un águila está buscando algo que comer, los individuos que pueda distinguir con más facilidad son los que probablemente acaben en su estómago. Pongamos que la presa del águila son los ratones, que pueden ser de color blanco o de color oscuro (mira la figura 12-1a) y viven en un bosque donde el terreno es oscuro. En ese caso el águila distinguirá más fácilmente los ratones blancos. Con el tiempo, si las águilas de la zona continúan comiéndose más ratones blancos que oscuros (ver la figura 12-1b), los oscuros se reproducirán en mayor número. Los ratones oscuros tienen genes que determinan el color oscuro del pelaje, de manera que sus descendientes también serán

oscuros. Si el águila continúa alimentándose de los ratones de la zona, la proporción de ratones oscuros continuará aumentando poco a poco (como indica la figura 12-1c).

En este ejemplo, el águila es la *presión de selección*, un factor ambiental que hace que algunos organismos sobrevivan (los ratones de color oscuro) y otros no sobrevivan (los ratones de color blanco). La presión de selección debe su nombre a que los individuos de la población están sometidos a presión o estrés.

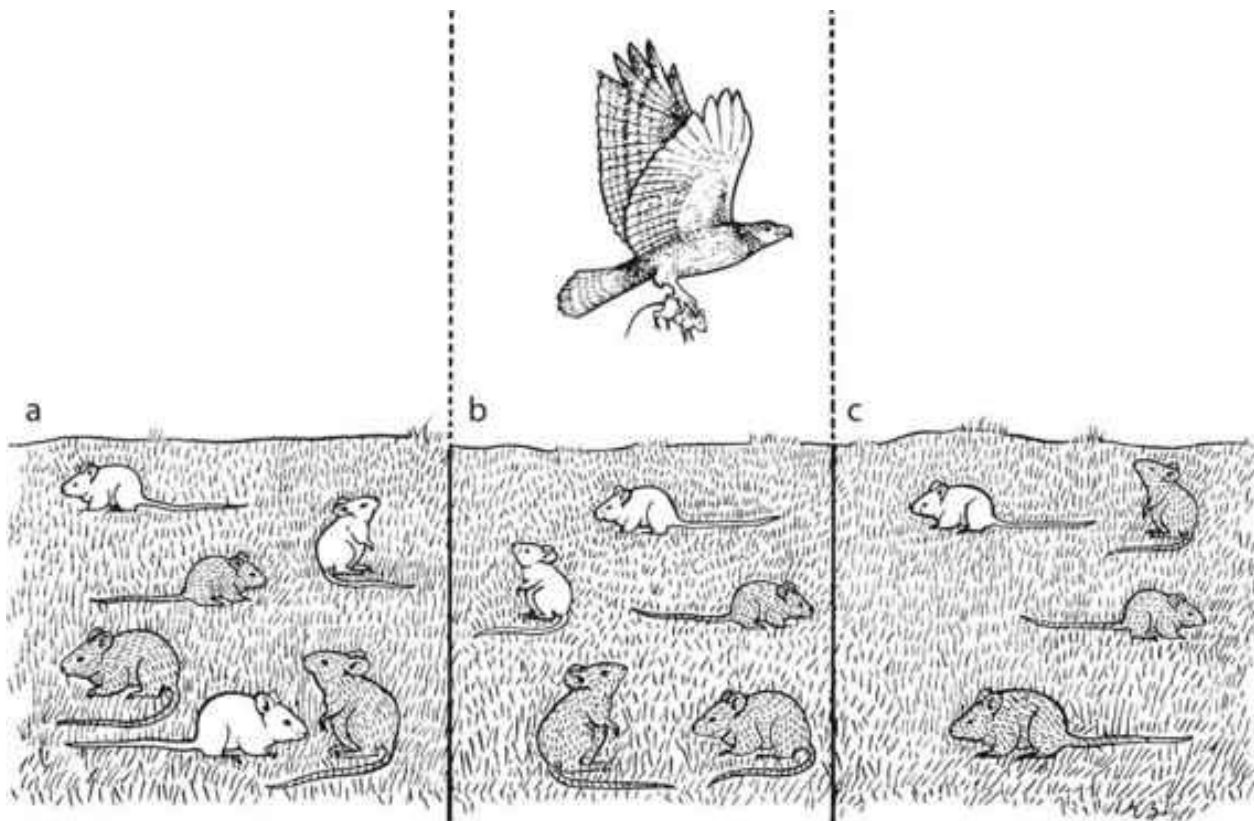


Figura 12-1:
La selección natural en acción.

Condiciones en que tiene lugar la selección natural

Para que en una población ocurra una selección natural, deben cumplirse varias condiciones:

- ✓ Los individuos de la población deben producir más descendencia

capaz de sobrevivir. Los seres humanos somos los únicos seres vivos que toman decisiones deliberadas sobre el número de descendientes que tienen. La mayoría de los organismos, en cambio, producen todos los descendientes que pueden.

- ✓ **Esos individuos deben tener características diferentes.** En los tiempos de Darwin, nadie sabía de dónde surgían esas diferencias. Ahora los científicos saben que las diferencias entre organismos se deben a mutaciones del ADN y a la mezcla de información genética durante la reproducción sexual (en el capítulo 6 encontrarás más información sobre la variación genética como resultado de la reproducción sexual).
- ✓ **Los descendientes deben heredar algunas características de sus progenitores.** En la época de Darwin las leyes de la herencia genética estaban en pañales, de modo que Darwin no sabía exactamente cómo transmitían sus rasgos los progenitores. Los científicos modernos saben que los rasgos se heredan cuando los padres transmiten genes a su descendencia (en el capítulo encontrarás más información sobre la herencia, y en el capítulo 8, información sobre los genes).



- ✓ **Los organismos que están mejor adaptados a su ambiente son los que tienen una probabilidad mayor de sobrevivir y reproducirse.** Esta es la idea principal de la selección natural. Si existe competencia por sobrevivir y no todos los organismos son iguales, entonces los que presenten características más adaptativas tendrán más posibilidades de sobrevivir. Si esas características son hereditarias, estarán presentes en un número mayor de individuos de la siguiente generación.

Si se cumplen estas cuatro condiciones, la nueva generación de individuos será diferente de la generación original en cuanto a la frecuencia y la distribución de las características, lo cual viene a ser la definición de evolución biológica.

Tipos de selección natural

La selección natural puede causar varios tipos de cambios en una población. Los cambios de la población dependen de la presión de selección a la que está sometida y de los rasgos que se ven favorecidos en tales circunstancias. Los individuos de una población, al evolucionar, pueden volverse más parecidos o menos parecidos entre sí en función de las circunstancias específicas y las presiones de selección.



Los cuatro tipos de selección natural son los siguientes:

- ✓ **Selección estabilizadora.** Elimina las características extremas o inusuales. Los individuos que presentan las características más comunes están mejor adaptados, lo cual mantiene la frecuencia de dichas características comunes en la población, al menos mientras las condiciones del medio se mantengan estables. El peso del feto en el momento del parto es una de estas características. Un feto cuyo peso sea inferior a 3 kg probablemente tenga alguna deficiencia nutritiva o esté poco maduro. Por su parte, los bebés de más de 4 kg es probable que tengan problemas para atravesar el canal del parto. La traducción de eso es que si no hay asistencia médica, la mortalidad en el momento de nacer será mayor cuando los neonatos son de muy gran tamaño o están malnutridos. Por tanto, las características que se fijarán en la comunidad serán la talla media (esta es genética) y buenos hábitos o posibilidades nutricionales (y esta es cultural).
- ✓ **Selección direccional.** Este tipo de selección favorece características que están en un extremo de la variabilidad posible de un cierto rasgo, mientras que las características situadas en el otro extremo se ven desfavorecidas. Con el paso de las generaciones, las características seleccionadas pasan a ser comunes y el resto se vuelve cada vez más escasas hasta terminar desapareciendo. Es el tipo de selección que hizo sobrevivir a las jirafas. Probablemente surgieron por mutación de unos herbívoros de cuello largo. Serían pocos, pero cuando la vegetación disminuyó y solo quedaron árboles con las hojas a una cierta altura, esos animales tenían mejor acceso a la comida; por lo tanto sobrevivirían

mejor y se reproducirían más, y así, poco a poco se asentó una especie con el cuello extraordinariamente largo.

- ✓ **Selección diversificadora o disruptiva.** En este tipo de selección, el ambiente favorece a los individuos que presentan características inusuales que se alejan de los valores promedio tanto por más como por menos. Se da cuando hay una gran alteración del medio y puede dar lugar a nuevas especies. Un ejemplo es el salmón del pacífico. Los machos grandes nadan con mucha potencia y llegan antes a fecundar los huevos depositados por la hembra; pero los más pequeños se cuelan entre las rocas y pasan más desapercibidos a sus competidores y depredadores. El resultado es que en las poblaciones se ve que hay muchos machos grandes, muchos pequeños y muy pocos de tamaño medio.
- ✓ **Selección sexual.** Las hembras aumentan la aptitud de su descendencia escogiendo los machos con los que se aparean. Al seleccionar los machos más potentes o más hábiles, se selecciona la información genética que da esas cualidades y se transmite a la descendencia. Puede ser la fuerza, los cuernos grandes o el pico fino que permite a los pájaros tejedores construir nidos muy elaborados y resistentes (las hembras de esos pájaros eligen su pareja por el nido que ha construido). Además, eso da otro factor de evolución, ya que como las hembras eligen a sus parejas, los machos que tienen características que atraigan a las hembras tendrán más descendencia, por ejemplo los que presenten conductas de apareamiento o colores más llamativos.



La evolución biológica actúa sobre poblaciones, no sobre individuos. Los individuos viven o mueren y se reproducen o no se reproducen en función de sus circunstancias. Sin embargo, los individuos por sí mismos no pueden evolucionar en respuesta a una presión de selección. Imagina una jirafa que tiene el cuello demasiado corto y no consigue alcanzar las hojas más sabrosas que hay en lo alto de un árbol. A esa jirafa no se le va a alargar el cuello de repente para que pueda alcanzar las hojas. Sin embargo, si

otra jirafa de la manada tiene el cuello más largo, podrá comer más hojas, crecerá mejor y engendrará más crías que heredarán su cuello largo y entonces las futuras generaciones de jirafas de esa zona posiblemente tendrán el cuello más largo.

Las pruebas de la evolución biológica

Desde que Darwin diera a conocer sus ideas sobre la evolución biológica y la selección natural, muchas líneas de investigación de diversos ámbitos científicos han aportado pruebas que demuestran que la evolución biológica se debe en parte a la selección natural.



Como existen muchísimos datos que respaldan la idea de la evolución biológica a través de la selección natural y como hasta el momento no se ha encontrado ninguna prueba en contra, esta idea se considera una teoría científica (en el capítulo 2 hablamos sobre la importancia de las teorías en la ciencia).

En los siguientes apartados exponemos algunas de las pruebas, antiguas y nuevas, que respaldan la teoría de Darwin, y hablamos de las herramientas que han utilizado los científicos modernos para obtenerlas.

Bioquímica



La *bioquímica* fundamental (los procesos químicos que se desarrollan en las células) de todos los seres vivos que hay en la Tierra es increíblemente similar, lo cual prueba que todos los organismos del planeta comparten una ascendencia común.

Un ejemplo que viene al caso: todos los seres vivos almacenan el material genético en el ADN y sintetizan proteínas a partir de los mismos aminoácidos,

20 en total. Da igual si son plantas que absorben dióxido de carbono del aire, agua del suelo y luz del sol, leones que devoran un animal salvaje o personas que degustan un exquisito ágape cocinado por el propio Ferran Adrià: todos los organismos convierten los alimentos en energía y almacenan esa energía en moléculas de ATP. Esa energía almacenada se utiliza posteriormente para alimentar procesos celulares como la síntesis de proteínas, regulada por los genes de las cadenas de ADN.

Anatomía comparada

La *anatomía comparada*, que examina las estructuras de los seres vivos para encontrar relaciones entre ellos, ha revelado que las distintas especies de seres vivos evolucionaron a partir de ancestros comunes. Igual que tú tienes unas características estructurales similares a las de otros miembros de tu familia (estamos hablando de orejas pequeñas, nariz grande, etc.), también existen similitudes estructurales entre grupos que presentan un parentesco más lejano. Como puedes ver en la figura 12-2, los esqueletos de personas, gatos, ballenas y murciélagos, por ejemplo, son sorprendentemente similares aunque todos esos animales tengan estilos de vida dispares y vivan en ambientes muy diferentes. A primera vista, el brazo de una persona, la pata delantera de un gato, la aleta de una ballena y el ala de un murciélago pueden parecer muy diferentes, pero si te fijas en los huesos que los componen, verás que son los mismos en todos los casos: un *brazo* superior, un codo, un *brazo* inferior y cinco *dedos*. Las únicas diferencias que hay entre estos huesos son su tamaño y su forma. En lenguaje científico, las estructuras similares como estas se llaman *estructuras homólogas* (*homo* significa ‘mismo’). La mejor explicación para estas estructuras homólogas es que los cuatro mamíferos descenden de un ancestro común, una idea que está respaldada por el registro fósil.



Las estructuras homólogas de los mamíferos son especialmente interesantes en el caso de las ballenas, ya que revelan un estrecho parentesco

entre ellas y los animales terrestres. De hecho, esta prueba aportada por la anatomía comparada respalda la idea de que las ballenas evolucionaron de la vida terrestre a la marina.

Distribución geográfica de las especies



El modo en que las poblaciones de especies están distribuidas por todo el planeta concuerda con la teoría de la evolución biológica postulada por Darwin. De hecho, la *biogeografía*, la ciencia que estudia la distribución de los seres vivos sobre la Tierra, permite a los científicos realizar predicciones contrastables acerca de la evolución biológica. Básicamente, si la evolución biológica es cierta, cabe esperar que haya grupos de organismos emparentados entre sí que habiten en lugares próximos, ya que esos organismos emparentados provienen de un ancestro común (una excepción a esta predicción es que los animales migratorios podrían alejarse mucho de sus parientes). Por otro lado, si no se hubiera producido la evolución a partir de ancestros comunes, sería difícil encontrar las especies emparentadas en un área geográfica acotada y relativamente reducida. Por ejemplo, un creador pudo haber diseminado los organismos de forma aleatoria por todo el planeta, o podrían haber surgido grupos de organismos independientemente de otros organismos en los ambientes que les fueran más propicios. Cuando los biogeógrafos comparan la distribución de los organismos actuales, observan que las especies están distribuidas en toda la Tierra con arreglo a patrones que reflejan las relaciones genéticas existentes entre ellas.

Cuando Darwin comparó los pinzones de las Galápagos con los pinzones del continente sudamericano, las especies únicas que vivían en las Galápagos lo llevaron a formular la hipótesis de que las islas habían sido colonizadas por pinzones procedentes del continente. Esta hipótesis fue avalada tiempo después, cuando los científicos modernos analizaron la información genética de los pinzones de las Galápagos y comprobaron que estaban emparentados

entre ellos y también con los continentales.

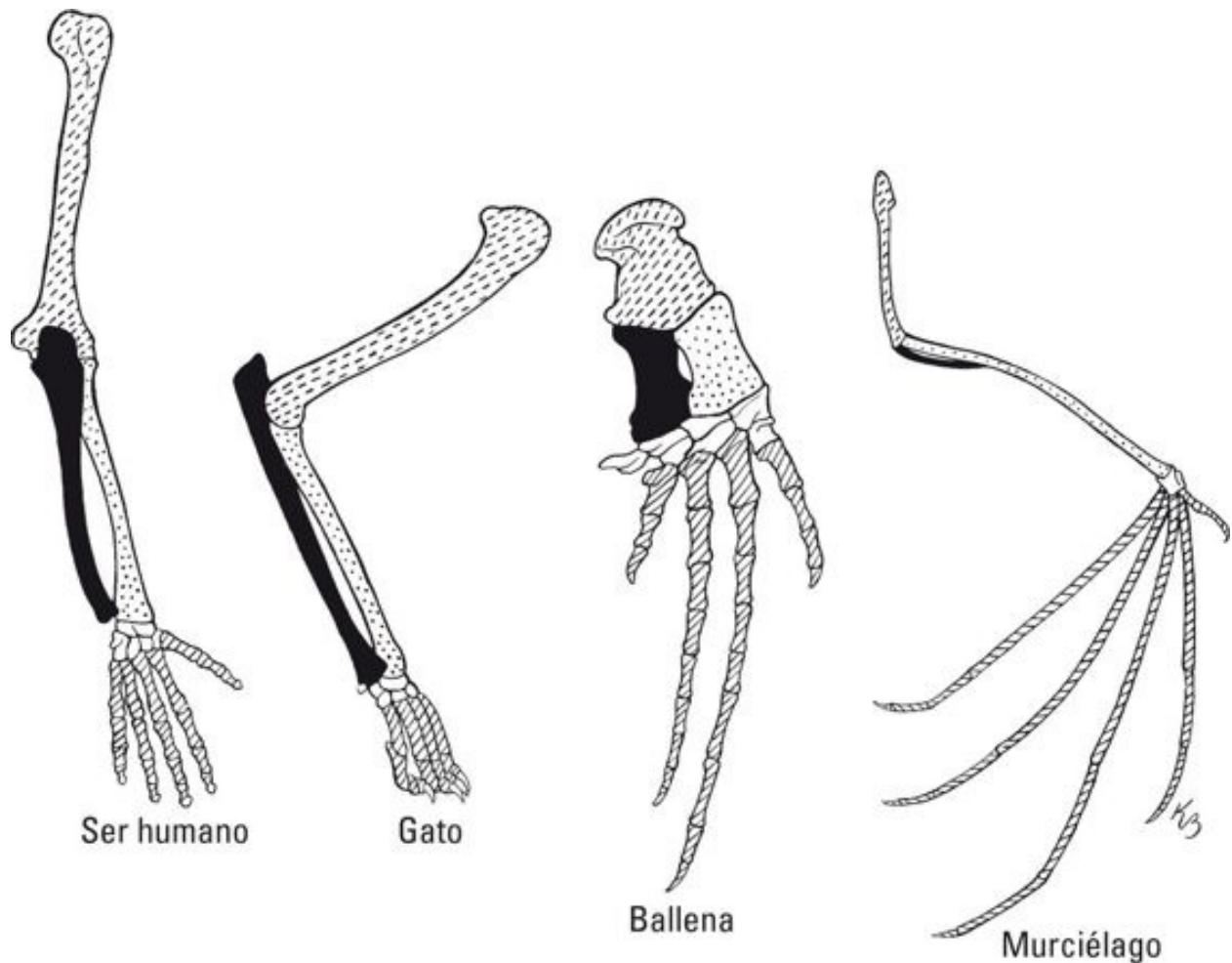


Figura 12-2:

Anatomía comparada de los huesos que forman las extremidades delanteras de humanos, gatos, ballenas y murciélagos.

Desde la época de Darwin se han encontrado muchos otros ejemplos que ilustran cómo ha influido la distribución geográfica en la evolución biológica de los organismos. La distribución de organismos en el archipiélago de Hawái, por ejemplo, nos cuenta una historia similar a la protagonizada por las Galápagos. Hawái tiene especies que solo viven en esas islas pero están emparentados con otras presentes en el continente americano. La mejor explicación para las formas de vida inusuales halladas en Hawái es que los organismos llegaron a las islas debido a circunstancias excepcionales, por ejemplo tormentas, y luego evolucionaron separadamente de sus ancestros

continentales.

De forma similar, Norteamérica y Sudamérica eran continentes separados antes de que se formara el istmo de Panamá. En cada zona vivían grupos de animales diferentes. En Sudamérica había armadillos, puercoespines y zarigüeyas, mientras que en Norteamérica vivían pumas, mapaches y osos perezosos. El registro fósil demuestra que esos grupos de mamíferos evolucionaron por separado hasta que el istmo de Panamá unió los dos continentes y los mamíferos pudieron migrar de uno a otro.

Biología molecular

La *biología molecular* es la rama de la biología que se centra en la estructura y la función de las moléculas que forman las células. Gracias a ella, los bioquímicos han podido comparar las estructuras de las proteínas de muchas especies diferentes y luego han elaborado *árboles filogenéticos* (vienen a ser como árboles familiares; tienes más información en el capítulo 10) que revelan relaciones entre organismos a partir de similitudes entre sus proteínas.

Con el desarrollo de la tecnología que permite leer la secuencia genética del ADN (en el capítulo 8 encontrarás más información al respecto), los científicos modernos también han logrado comparar secuencias genéticas entre especies.

Algunas proteínas y secuencias genéticas son similares entre organismos muy lejanamente emparentados, lo cual indica que no han cambiado en millones de años; esas secuencias se llaman *secuencias altamente conservadas*.

Una de estas secuencias altamente conservadas produce una proteína llamada citocromo c, que es parte de la cadena de transporte de electrones que se forma en las mitocondrias. Los seres humanos y los chimpancés tenemos exactamente las mismas secuencias de aminoácidos en el citocromo c, lo cual indica que nuestras ramas evolutivas se separaron hace muy poco (cuando hablamos de evolución, *muy poco* es igualmente un montón de tiempo, en este caso alrededor de seis millones de años). El citocromo c de los macacos de la India difiere del que tienen los humanos y los chimpancés en un único aminoácido (de una cadena de 104), lo cual indica que los macacos de la India

tienen un parentesco ligeramente más lejano con nosotros que el chimpancé.

El registro fósil

El *registro fósil* (todos los fósiles que se han encontrado y la información obtenida de ellos) proporciona pruebas detalladas de los cambios que han experimentado los seres vivos con el devenir de los siglos.

En la época de Darwin, la *paleontología*, que es la ciencia que estudia los fósiles, acababa de nacer. Desde entonces, los paleontólogos se han esforzado por llenar los huecos del registro fósil con el fin de explicar la historia evolutiva de los organismos.

Se han encontrado cientos de miles de fósiles que revelan cambios en la forma de los organismos. Para algunos tipos de seres vivos, por ejemplo peces, anfibios, reptiles y primates, la descripción de los cambios que conducen de una forma a otra del organismo es tan completa que cuesta decir dónde termina una especie y comienza la siguiente.



A partir del registro fósil, los paleontólogos han establecido una cronología fiable de la aparición de diferentes tipos de seres vivos, desde las células procariotas (de ellas se habla en el capítulo 4) hasta los humanos actuales.

Datos observables

La evolución biológica puede medirse estudiando los resultados de experimentos científicos que miden cambios evolutivos en las poblaciones de organismos actualmente vivos. De hecho, basta con leer un periódico o buscar un poco en internet para encontrar una prueba clara de la evolución biológica: las bacterias resistentes a los antibióticos.

En la década de 1940, cuando el hombre empezó a utilizar antibióticos para tratar infecciones, la penicilina mataba a la mayoría de las cepas de la bacteria *Staphylococcus aureus*. Con el uso generalizado de antibióticos, las

poblaciones de *S. aureus* se vieron sometidas a una fuerte presión de selección; las más aptas fueron las que resistieron mejor los efectos de la penicilina. Las bacterias que no lograron resistir a la penicilina murieron, y las resistentes se multiplicaron. Actualmente, la mayoría de las poblaciones de *S. aureus* son resistentes a la penicilina natural. Incluso ha surgido una nueva cepa de *S. aureus* llamada *MRSA* que es resistente a la penicilina natural y también a la meticilina semisintética, que había sido un arma poderosa para combatir infecciones estafilocócicas. La mayoría de las cepas de *MRSA* todavía responden al tratamiento con vancomicina, actualmente el último recurso efectivo, pero algunas cepas nuevas y muy peligrosas están empezando a desarrollar resistencia. A finales de la década de 1990 se tuvo constancia de las primeras cepas de *VRSA* (*S. aureus* resistente a la vancomicina). En la actualidad no hay ningún antibiótico capaz de combatir la *VRSA*. Si una persona contrae una infección grave por esa cepa, lo más probable es que muera.



Los antibióticos son un arma de doble filo. Al utilizarlos para combatir una infección, conseguimos que la persona recupere la salud, pero también estamos acelerando el proceso de selección natural de las bacterias. La buena noticia, o eso cabe esperar, es que, como los médicos y los científicos entienden los mecanismos de la evolución biológica, son capaces de ver lo que está ocurriendo y pueden tomar medidas para contrarrestar esas tendencias (por ejemplo, recetar menos antibióticos).

Datación por radioisótopos

La datación por radioisótopos indica que la Tierra tiene 4.500 millones de años, tiempo suficiente para los muchos cambios que han experimentado las especies como consecuencia de la evolución biológica. Los *isótopos* son formas distintas de los átomos de un elemento químico (en el capítulo 3 encontrarás más información sobre los isótopos). Algunos isótopos son radioactivos; eso significa que pierden partículas con el tiempo y se

convierten en otros elementos. Los científicos conocen la velocidad a la que tiene lugar esa transformación, de modo que pueden coger muestras de rocas y analizar los elementos que hay dentro de ellas. A partir de la velocidad de la transformación y los tipos de elementos que estaban presentes originalmente en las rocas, los científicos pueden calcular el tiempo que los elementos de una roca en particular llevan perdiendo partículas; o dicho de otro modo: pueden saber la edad de la roca (y entre ellas, las rocas que contienen fósiles).

¿Por qué tanta controversia? Evolución frente a creacionismo

Hoy en día, prácticamente toda la comunidad científica está de acuerdo en que la evolución biológica es un hecho y explica muchas observaciones importantes sobre los seres vivos. Sin embargo, muchas personas ajenas a la ciencia no creen en la evolución biológica y a menudo se oponen a ella violentamente, ya que interpretan de forma literal la historia de la creación narrada en la Biblia. Estos puntos de vista tan radicalmente opuestos han suscitado una de las mayores controversias de todos los tiempos: ¿qué es verdad, la evolución o el creacionismo? (El *creacionismo* es la idea de que Dios creó el mundo y toda la vida que hay en él a partir de la nada. La mayoría de los creacionistas creen en la historia de la creación que aparece en el libro del Génesis.)



En gran parte, la idea de la evolución biológica ha causado tanta controversia a lo largo del tiempo porque muchas personas consideran que contradice la visión cristiana sobre el lugar que ocupa el hombre en el plan divino. Según el filósofo griego Aristóteles, en la naturaleza no ocurren accidentes; por lo tanto, todo lo que existe se ha creado con un propósito. Un pensador del siglo XVII llamado William Paley se basó en esta idea para su teoría del *diseño inteligente*: los diseños bellos no surgen por azar; si un diseño bello existe, también debe existir el diseñador.

Así pues, según parece, toda la controversia en torno a la evolución biológica parte de esta cuestión: si los seres vivos se desarrollaron en toda su maravillosa complejidad como consecuencia de procesos naturales y sin la intervención directa de Dios, ¿cuáles son las repercusiones en cuanto al lugar que ocupa el hombre en el mundo? ¿Es que la humanidad no es especial para Dios?

Si tienes fuertes convicciones religiosas y crees que aceptar la evolución biológica como un hecho probado podría hacerte menos especial a ojos de Dios, entenderás por qué la creencia en la evolución biológica es causa de conflicto. Sin embargo, ¿es realmente ineludible este conflicto entre la evolución biológica y la fe religiosa? Muchas personalidades religiosas y muchos científicos creen que no. De hecho, muchos científicos tienen firmes creencias religiosas; y muchos líderes religiosos han afirmado públicamente que creen en la evolución biológica.

En último término, las creencias de cada persona se encuentran bajo su propio control. Pero los científicos distinguen claramente entre creencias, o fe, y ciencia, o conocimiento.

La ciencia es un intento de explicar el mundo natural a partir de observaciones realizadas con los cinco sentidos. Las ideas científicas, o hipótesis, deben ser contrastables (susceptibles de verificación) mediante observación y experimentación (en el capítulo 2 hablamos sobre la naturaleza de la ciencia y el método científico).

La existencia de Dios es una cuestión ajena al ámbito científico. Dios es considerado un ser sobrenatural, no sometido a las leyes del mundo natural. Por lo tanto, la creencia en la existencia de Dios es una cuestión de fe.

Como las teorías del diseño inteligente y el creacionismo invocan la existencia de un diseñador o creador sobrenatural, no son ideas científicas ni teorías científicas y no pueden ser contrastadas ni observadas por medios científicos. Las personas que están a favor del diseño inteligente apoyan sus argumentos en observaciones del mundo natural, pero las explicaciones que proponen para esas observaciones no están basadas en el mundo natural, y tampoco realizan experimentos para contrastar esas ideas con arreglo a las leyes del mundo natural.



El creacionismo y el diseño inteligente no siguen las reglas fundamentales de la ciencia y no pueden considerarse ideas científicas. La tabla 12-1 muestra los argumentos esgrimidos por científicos y creacionistas en relación con la evolución biológica, para que puedas compararlos y llegar a tus propias conclusiones.

Tabla 12-1: Puntos de vista religiosos y científicos sobre la evolución

<i>Lo que dicen los creacionistas y los partidarios del diseño inteligente</i>	<i>Lo que dicen los científicos</i>
La naturaleza es bella y compleja. Muchos seres vivos están perfectamente adaptados a la función que desempeñan en la naturaleza. Estos maravillosos diseños no podrían haber surgido por puro azar; debe existir un diseñador inteligente.	La evolución biológica no es aleatoria. El cambio es aleatorio, pero la evolución biológica está basada en el cambio y en la selección natural. La selección natural hace que las poblaciones cambien en una determinada dirección que les permite adaptarse mejor a las condiciones ambientales. Si determinados organismos y estructuras parecen estar perfectamente adaptados a su entorno, es porque la selección natural ha hecho que sean así.

Tabla 12-1: Puntos de vista religiosos y científicos sobre la evolución (continuación)

<i>Lo que dicen los creacionistas y los partidarios del diseño inteligente</i>	<i>Lo que dicen los científicos</i>
La complejidad de los seres vivos, desde las numerosas reacciones metabólicas que ocurren en el interior de una célula hasta el increíble funcionamiento del globo ocular de los vertebrados, no podrían haber surgido de repente por la acumulación de cambios aleatorios.	Los procesos y las estructuras complejas no se crean de la nada de forma repentina. La evolución biológica actúa adaptando estructuras existentes. La acumulación de muchos cambios que remodelan esas estructuras conduce a la creación de nuevos procesos y estructuras.
El registro fósil no es una prueba de la evolución biológica, ya que existen demasiados huecos entre especies. Además, el eslabón perdido entre humanos y simios nunca se ha encontrado.	El registro fósil de la época de Darwin estaba incompleto, pero actualmente muchas líneas evolutivas están bien documentadas, entre ellas la de los primates. Existen dos fósiles especialmente importantes que revelan transiciones entre especies: el <i>Archaeopteryx</i> , un reptil con plumas que parece representar la transición entre dinosaurios y aves, y el <i>Tiktaalik</i> , un animal que parece ser un estadio intermedio entre los peces y los cuadrúpedos. Este último tenía pulmones y branquias y podía sostenerse sobre cuatro patas.
La evolución biológica genera polémica incluso entre los científicos, algunos de los cuales la rechazan.	Prácticamente todos los científicos aceptan la evolución biológica y reconocen su importancia como explicación de la vida en la Tierra. Los científicos a menudo mantienen debates y realizan experimentos sobre los pormenores de la evolución biológica (al fin y al cabo, esta forma de actuar es el fundamento de la investigación científica), pero no cuestionan que la evolución biológica sea cierta. La idea básica de Darwin, que la evolución biológica tiene lugar por medio de la selección natural, continúa siendo aceptada y cuenta con el respaldo de muchas líneas de investigación.

Cómo evolucionó la especie humana

Tú perteneces a la especie *Homo sapiens*. Las personas somos la única especie viva de *homínidos* (que son el conjunto de los humanos modernos y sus ancestros ya extinguidos) que hay en el planeta, pero los científicos han encontrado fósiles de otros homínidos que aportan pistas sobre nuestros orígenes evolutivos.



Los seres vivos más estrechamente emparentados con los humanos son otros primates, sobre todo los chimpancés. Los *primates* son el orden de mamíferos al que pertenecen los monos, los simios, o hominoideos, y los humanos. Tienen cerebros grandes, manos prensiles y visión tridimensional (en el capítulo 10 encontrarás las distintas categorías que componen la jerarquía taxonómica).

En los apartados siguientes hablamos sobre las herramientas que utilizan los científicos para rellenar los huecos que todavía hay en el conocimiento de la evolución de los seres humanos, y también comentamos los descubrimientos y las conexiones que han establecido a lo largo de los años.

Hallazgos fósiles

Posiblemente el registro fósil de homínidos sea la mejor pista para entender por qué tu estructura física es como es. Los científicos utilizan los fósiles para reunir pistas sobre el origen de los seres humanos y sobre nuestra relación con otros primates. Los fósiles de homínidos son poco frecuentes y a menudo están incompletos, pero todos los que se han descubierto han aportado nuevos elementos de información a la historia.



Las teorías científicas que están respaldadas por numerosas pruebas procedentes de diversas líneas de investigación, como es el caso de la teoría de la evolución biológica, no suelen experimentar cambios sustanciales en respuesta a nuevas pruebas. En lugar de ello, las nuevas pruebas ayudan a redefinir las teorías y aportan detalles importantes sobre el funcionamiento de

los procesos.

Las ideas de los científicos sobre la evolución biológica de los seres humanos han ido modificándose con el tiempo. Aquí tienes una relación de los fósiles de homínidos que se han descubierto desde finales del siglo XVII:

- ✓ En 1891, el investigador Eugene Dubois descubrió unos cuantos huesos en la isla de Java, frente a la costa sudoriental de Asia. Dubois pensó que había encontrado el eslabón entre los simios y el hombre, y llamó a su descubrimiento el *Hombre de Java*. Lo que encontró era ciertamente un antepasado del *Homo sapiens* moderno, pero no tenía características simiescas. En realidad se trataba de un miembro de la especie *Homo erectus*, uno de los primeros homínidos bípedos. Desde entonces se han encontrado otros huesos de *Homo erectus* en China y en África.
- ✓ Durante la década de 1930, un investigador llamado Raymond Dart examinó un cráneo pequeño que había sido hallado en Taung, un pueblo sudafricano. Tras estudiar la estructura ósea y percatarse de que el cráneo contenía un cerebro petrificado, Dart llegó a la conclusión de que había pertenecido a un niño de aproximadamente seis años de edad, a quien identificó como una especie ancestral humana. Los restos recibieron el nombre de *Niño de Taung*. Dart pensó que había encontrado el eslabón perdido entre los simios y los hombres, pero la comunidad científica no estuvo de acuerdo. Dart fue ridiculizado por sugerir que los orígenes del hombre debían buscarse en el continente africano, cuando en aquel tiempo se pensaba que las primeras especies humanas surgieron en Asia (debido al revuelo en torno al Hombre de Java). Aunque sus tesis fueron impopulares, Dart perseveró. Clasificó su cráneo como *Homo habilis*, que significa hombre hábil, porque junto a los huesos se habían hallado algunos útiles de piedra.
- ✓ En la década de 1930, Louis y Mary Leakey empezaron a excavar en la garganta de Olduvai, al norte de Tanzania. Tres décadas más tarde, su hijo Richard encontró en ese mismo yacimiento la mandíbula de un tigre de dientes de sable. Continuaron excavando en aquella zona y acabaron desenterrando los restos fósiles de tres esqueletos que también se clasificaron como de *Homo habilis*, con una antigüedad de dos millones

de años aproximadamente. Los Leakey siguieron trabajando en la garganta de Olduvai y en 1984 lograron un hallazgo espectacular: el primer (y todavía único) esqueleto completo de un *Homo erectus*, con una antigüedad de 1,6 millones de años.

- ✓ En 1994, la esposa de Richard Leakey, Meave, subió por la garganta de Olduvai hasta Kanapoi, en el norte de Kenia, y encontró los restos de una especie de homínido de 4,2 millones de años de antigüedad. El maxilar inferior estaba completo y los dientes eran sorprendentemente parecidos a los de un ser humano moderno. Sin embargo, la forma de la mandíbula presentaba similitud con la de un chimpancé. También se encontraron fragmentos de un fémur, lo cual indica que la criatura caminaba erguida. Meave llamó a su descubrimiento *Australopithecus anamensis*.
- ✓ Después de los hallazgos protagonizados por Dart y los Leakey se han encontrado otros huesos fosilizados a lo largo de la costa sudoriental africana, y por eso se dice que África es la cuna de la civilización. En 1974, Don Johanson descubrió en Etiopía el esqueleto fosilizado de un homínido perteneciente a la especie *Australopithecus afarensis* (porque se halló en una región de Afar), de 3,2 millones de años de antigüedad, que recibió el sobrenombre de Lucy.
- ✓ Actualmente se están estudiando los huesos de un esqueleto de 4,4 millones de años de antigüedad encontrado en Etiopía. La especie se ha denominado *Ardipithecus ramidus* y, por tratarse del fósil ancestral más antiguo conocido, los científicos lo están utilizando para determinar si este organismo era realmente un antepasado directo de los seres humanos.

Los científicos se sirven de huesos fosilizados, por ejemplo los de homínidos primitivos como Lucy, para entender de qué modo las características más simiescas de nuestros antepasados evolucionaron hasta convertirse en las características de los seres humanos modernos. La tabla 12-2 muestra un resumen de los cambios físicos que se produjeron a medida que los simios evolucionaron para convertirse en humanos.

Tabla 12-2: Cambio de simios a humanos

<i>Estructura anatómica</i>	<i>Cambios</i>
Brazos	Como los simios caminan sobre las cuatro extremidades, las dos delanteras no se extienden por completo (si lo hicieran, sufrirían dislocaciones). Por consiguiente, los simios, a diferencia de los seres humanos, no tienen codos que permitan extender el brazo.
Cerebro	Los seres humanos modernos tenemos una frente prominente. El tamaño y la forma del cráneo han cambiado a la par que el tamaño y la forma del cerebro. Los cerebros humanos son ahora más grandes y más redondeados que los de especies ancestrales. Y la prominencia ósea que tenemos por encima de las cejas es bastante más pequeña que la de nuestros predecesores humanos.
Pies	Ahora que caminamos erguidos, la forma del talón ha cambiado de manera que puede absorber el impacto del pie contra el suelo al caminar.
Manos	Las manos de una persona y de un chimpancé son sorprendentemente similares. Las estructuras anatómicas son idénticas, y la única diferencia son las huellas dactilares. Los seres humanos y otros primates tienen pulgares opuestos a los otros dedos y <i>prensiles</i> , de manera que pueden agarrar objetos. Los pulgares prensiles aparecieron en nuestros predecesores humanos hace aproximadamente 18 millones de años.

Tabla 12-2: Cambio de simios a humanos (continuación)

<i>Estructura anatómica</i>	<i>Cambios</i>
Mandíbulas	La mandíbula y los dientes de los seres humanos se han hecho más pequeños. Ahora que cocinamos los alimentos (en lugar de comerlos crudos), no nos hacen tanta falta unos dientes capaces de desgarrar y triturar. En su lugar hemos desarrollado un mentón que refuerza el maxilar más delgado. Los cambios en la mandíbula y el aplanamiento de la cara (además del desarrollo del cerebro) nos han permitido desarrollar el lenguaje.
Rodillas	Las rodillas permiten a las personas caminar erguidas. La pierna totalmente extendida soporta el peso del cuerpo, y como la rodilla se encuentra por debajo de los huesos pélvicos (no por delante de ellos), no nos balanceamos al movernos. El balanceo reduce la velocidad. Es bastante probable que los primeros humanos tuvieran que correr para huir de sus depredadores, por eso los que no se balanceaban tenían más probabilidad de sobrevivir y reproducirse, transmitiendo el rasgo de las rodillas a sus descendentes.
Cola	Los simios no tienen cola, y los seres humanos tampoco. Esta característica anatómica desapareció hace aproximadamente 25 millones de años. No obstante, los vestigios de una cola son evidentes en el hueso coccígeo, al final de la columna vertebral.

Excavando en el ADN

El desarrollo de la tecnología del ADN ha sido de gran ayuda para que los científicos pudieran leer parte de la historia humana codificada en el ADN (en el capítulo 8 abordamos las complejidades del ADN). Estudiando las secuencias de ADN de homínidos, los científicos pueden descubrir varias cosas, entre ellas:

- ✓ **Qué homínidos están más estrechamente emparentados.** Las especies que están estrechamente emparentadas presentan más similitudes en su ADN que las especies de parentesco más lejano. El animal más estrechamente emparentado con el ser humano es el chimpancé, con quien compartimos aproximadamente el 97 por ciento del ADN. Actualmente se cree que hace entre 10 y 20 millones de años existió una especie de características simiescas que dio lugar a una línea de gorilas hace aproximadamente siete millones de años. Esa especie se ramificó en dos líneas hace aproximadamente cinco o seis millones de años. Una de esas ramas evolutivas dio lugar a los chimpancés, y la otra evolucionó hasta los seres humanos actuales.
- ✓ **Cómo migraron los homínidos.** Comparando las relaciones genéticas entre homínidos, la edad de ciertos fósiles y la ubicación geográfica de esos fósiles, los científicos pueden deducir dónde se originaron las especies y adónde viajaron.
- ✓ **Cuándo surgieron nuevas especies.** En el caso de los animales, las especies se definen por su capacidad de producir descendencia al aparearse. Si dos organismos producen descendencia, se considera que pertenecen a la misma especie, mientras que los organismos que no pueden reproducirse entre sí se consideran especies diferentes. Si una especie está extinguida, los científicos no pueden realizar observaciones directas para saber qué organismos eran capaces de aparearse y producir descendencia. Sin embargo, sí pueden analizar secuencias de ADN procedentes de fósiles para averiguar cuáles de aquellos organismos mezclaron su material genético. Los científicos han comparado el ADN de seres humanos con el de otros primates vivos y con el de homínidos fosilizados, entre ellos los neandertales.

El gran cerebro del *Homo sapiens*

Una cosa es saber cómo los *Homo sapiens* evolucionaron hasta convertirse en los humanos modernos y otra muy distinta es entender por qué ocurrieron esos cambios. Por ejemplo, ¿por qué el cerebro humano creció mucho más que el

de otros homínidos? Las únicas pistas para averiguar por qué las cosas ocurrieron de la forma que ocurrieron son los útiles encontrados junto a esqueletos, las pruebas del enterramiento de restos humanos y las pruebas del uso del fuego. A partir de esas pistas, los científicos pueden plantear hipótesis que expliquen el camino evolutivo de los seres humanos modernos. Algunas de estas hipótesis son las siguientes:

- ✓ Cuando los antepasados humanos empezaron a caminar erguidos, pronto empezaron también a cazar. Por lo tanto, pasaron de ser herbívoros a carnívoros. Un factor que condujo a esta transformación fue el cambio climático. Cuando la Tierra comenzó a calentarse, algunos de los bosques desaparecieron y se convirtieron en sabanas despejadas. En una sabana despejada es mucho más fácil ver una presa (sobre todo si estás de pie). Por tanto, nuestros antepasados humanos se convirtieron en cazadores y comieron mucha carne.
- ✓ Las grasas y proteínas que se ingieren en una dieta rica en carne hicieron que los cerebros de los homínidos aumentaran de tamaño y la selección natural favoreció aquellos cerebros más grandes (aunque los científicos todavía no saben por qué).
- ✓ Como los cerebros cambiaron de forma y aumentaron de tamaño, las hembras de aquellos homínidos se vieron obligadas a dar a luz antes, para que la cabeza del bebé pudiera pasar a través del canal del parto que dejan los huesos pélvicos. Y puesto que el tiempo de gestación se redujo, las crías de los humanos pasaron a depender mucho más de sus madres y durante un período más largo. Este cambio significó que la madre ya no podía salir a cazar, pero igualmente necesitaba una nutrición adecuada para producir leche con la que alimentar a su hijo. Por lo tanto, el padre y otros miembros del clan tenían que ayudar a la madre trayéndole alimento. El hecho de que la madre tuviera que confiar en otros para su supervivencia y la de su bebé condujo a la formación de lazos estrechos con otros miembros del clan.

En la tabla 12-3 se comparan los cerebros de varias especies de homínidos.

Tabla 12-3: La evolución del cerebro de los homínidos

Nombre de género y especie	Desarrollo del cerebro
<i>Australopithecus anamensis</i> , <i>Australopithecus afarensis</i>	Cerebro con un tamaño aproximado de 400 cm ³ , comparable al de un chimpancé o un gorila. Ambas especies caminaban erguidas pero tenían la inteligencia de un simio.
<i>Homo habilis</i>	Cerebro de 650 cm ³ aproximadamente. Esta especie era capaz de utilizar útiles de piedra.
<i>Homo erectus</i>	Cerebro de entre 850 y 900 cm ³ . Los miembros de esta especie empezaron a crear lazos sociales entre ellos.
<i>Homo neanderthalensis</i>	Cerebro de 1.300 cm ³ . Los miembros de esta especie eran más robustos.
<i>Homo sapiens</i>	Cerebro de entre 1.200 y 1.600 cm ³ . Esta especie tiene el lóbulo frontal más grande y la frente más ancha a causa del incremento de la capacidad cerebral.

Parte IV

Sistemas y más sistemas: estructuras y funciones de los animales

The 5th Wave

Rich Tennant



—No veas lo nervioso que me tiene este examen. Puedo sentir la andinilina, o como se llame, corriendo por los tubitos esos que tenemos en el cuerpo.

En esta parte...

¿Alguna vez te han dicho que eres un animal? Bueno, pues lo eres, literalmente, porque perteneces al reino animal. Hay animales de todas las formas y tamaños, pero todos tienen ciertas cosas en común, incluida la necesidad de oxígeno

y alimento. Algunos animales, como los seres humanos, se componen de muchos sistemas orgánicos complejos que coordinan la estructura y el funcionamiento del cuerpo.

En esta parte presentamos algunas nociones básicas sobre los muchos sistemas que hay en el cuerpo humano. También hablamos del funcionamiento de otros animales, por ejemplo cómo obtienen los nutrientes que necesitan de los alimentos y cómo envían esos nutrientes a distintos lugares de su organismo.

Capítulo 13

Los principios de la fisiología

En este capítulo

- ▶ Relacionar estructura y funcionamiento
 - ▶ Comprender conceptos fisiológicos importantes como la evolución y la homeostasis
-

La fisiología es la ciencia que estudia el funcionamiento de todos los seres vivos en su estado normal. El funcionamiento de los seres vivos está íntimamente relacionado con su estructura y comienza a escala celular. Para sobrevivir, los seres vivos deben ser capaces de regular sus funciones y responder a cambios en su entorno. En este capítulo te mostramos que el estudio de la fisiología es aplicable a todos los niveles de la vida y te presentamos algunos de los principios fundamentales de la fisiología que se aplican a todos los procesos del cuerpo humano.

Estudiar el funcionamiento en todos los niveles de la vida

A fin de comprender realmente a un ser vivo, necesitas una buena imagen mental de su estructura y del modo en que funcionan su cuerpo y sus células. Aquí es donde entran en escena la anatomía y la fisiología. La *anatomía* estudia la estructura de los seres vivos, mientras que la *fisiología* estudia el

modo en que esas estructuras funcionan. Estas dos ramas de la biología van cogidas de la mano porque el funcionamiento de un organismo depende de su estructura.

Por ejemplo, la función del corazón es bombear sangre por todo el cuerpo. Cuando el músculo cardíaco se contrae, bombea la sangre y la envía a las arterias. Para que el corazón funcione correctamente, unas membranas de tejido llamadas *válvulas* tienen que cerrar las cavidades cardíacas a fin de que la sangre no fluya en dirección contraria. Sin embargo, algunas personas nacen con un defecto que impide que las válvulas cardíacas se cierren del todo. El corazón de esas personas no trabaja de manera eficiente, porque una parte de la sangre regresa a él en lugar de dirigirse a las arterias. Una persona que tenga este defecto cardíaco posiblemente padecerá problemas de circulación y se cansará fácilmente. Los defectos de las válvulas cardíacas son solo un ejemplo de cómo pequeñas diferencias anatómicas en un organismo pueden afectar a su fisiología.

La anatomía y la fisiología pueden estudiarse en todos los niveles de organización de los seres vivos, desde las unidades de vida más pequeñas (células) hasta los organismos. Algunos científicos incluso se especializan en *fisiología ecológica*, que analiza las interrelaciones entre la fisiología de los organismos y su entorno. La complejidad de la anatomía y la fisiología aumentan a medida que ascendemos por los niveles de organización de los seres vivos. Algunas de las características de esa relación son las siguientes:

- ✓ **Los tejidos se componen de células, que a su vez se componen de moléculas.** Toda la fisiología está basada en el funcionamiento de las células, pero para entender ese funcionamiento, o los pormenores de un proceso fisiológico, debes conocer las interacciones de moléculas en el interior de la célula (encontrarás más información sobre células en el capítulo 4, y más información sobre moléculas en el capítulo 3).
- ✓ **Los organismos se componen de sistemas y aparatos, que a su vez se componen de órganos y estos, de tejidos.** Para entender el funcionamiento de un organismo, primero debes entender las funciones de los sistemas, los aparatos y los órganos que componen ese organismo. Y las funciones de los órganos dependen de las funciones de sus tejidos,

que son grupos de células similares.

- ✓ **Los organismos se multiplican para formar poblaciones, las cuales interaccionan con otras poblaciones para formar comunidades, que a su vez interaccionan con su entorno y forman ecosistemas.** La interacción de un organismo con otros seres vivos y con los elementos no orgánicos del entorno puede influir en su fisiología. Por ejemplo, algunos contaminantes como los policlorobifenilos (PCB, por sus siglas en inglés) tienen propiedades similares a los estrógenos, por lo que pueden afectar a la fisiología de la reproducción de los organismos. Del mismo modo, las interacciones con patógenos pueden causar enfermedades que alteran la fisiología de un organismo (en el capítulo 11 encontrarás abundante información sobre ecosistemas y en el capítulo 17 hablamos de los patógenos).

Para entender el funcionamiento de una estructura en cualquiera de los niveles de organización de los seres vivos, a menudo es necesario saber algo sobre los niveles inferiores. Sin embargo, saberlo todo sobre los niveles inferiores no te dice necesariamente cómo funcionan los niveles superiores. A veces la suma de las partes da como resultado algo mayor de lo que esperabas. Por ejemplo, no es posible predecir las propiedades intelectuales y emocionales del cerebro humano estudiando solo el funcionamiento de las neuronas individuales.



Las propiedades de un sistema completo que no pueden predecirse a partir de las funciones de las partes individuales reciben un nombre especial: *propiedades emergentes*.

Los grandes conceptos de la fisiología

Solo en el cuerpo humano hay diez sistemas y aparatos que interaccionan entre sí para regular la fisiología (en los capítulos restantes de la parte IV hablamos de estos sistemas). Cada sistema o aparato tiene sus propias partes y procesos, en su mayoría, únicos y especializados.

En los siguientes apartados presentamos unos cuantos conceptos fisiológicos que resultan fundamentales para el funcionamiento de todos los sistemas y aparatos, cuyas similitudes irás viendo, así como algunos procesos básicos que regulan sus funciones.

Evolucionar hacia la forma más apta

La *evolución biológica* es el estudio de los cambios que experimentan las poblaciones a lo largo del tiempo y explica la relación entre estructura y función, fundamental para la fisiología. Los científicos pueden examinar las estructuras y funciones de diferentes tipos de organismos y luego compararlas para ver de qué modo la evolución biológica crea variaciones de un tema con el fin de mejorar el funcionamiento de una parte de un animal (ya sea un tejido, un órgano o un sistema entero) para que pueda arreglárselas mejor en su entorno.

Por ejemplo, los científicos actuales saben que la función de los riñones es reabsorber agua para el cuerpo (en el capítulo 16 hablamos sobre los riñones con más detalle). En el interior del riñón, un conducto llamado *asa de Henle* ayuda a establecer las condiciones que permiten a los mamíferos reabsorber agua a partir del líquido que entra en el riñón, concentrando la orina y reabsorbiendo agua para el organismo. Los mamíferos que viven en el desierto están sometidos a una fuerte presión de selección para conservar el agua (en el capítulo 12 encontrarás más información sobre la evolución biológica y las presiones de selección). Muchos mamíferos del desierto tienen un asa de Henle extremadamente larga, que les permite reabsorber la mayor parte del agua. La orina de esos mamíferos está muy concentrada, lo cual los ayuda a sobrevivir en un medio extremadamente árido. Comparando estos mamíferos del desierto con sus parientes de zonas no desérticas, los científicos pueden encontrar pruebas de la evolución experimentada por el asa de Henle.

Un cuerpo en equilibrio gracias a la homeostasis

Hace más de cien años, el fisiólogo francés Claude Bernard señaló la

existencia de dos medios importantes para los animales:

- ✓ **El medio externo**, que se refiere al Sol y la atmósfera que rodea al animal. Experimenta cambios significativos, por ejemplo cambios de temperatura cuando amanece y anochece.
- ✓ **El medio interno** es el conjunto de fluidos que hay en torno a las células. Se ve afectado principalmente por la dieta del animal y por la cantidad de agua que bebe.



Si el medio interno de un animal cambia demasiado, las condiciones resultantes podrían matar las células de ese animal. Por lo tanto, los animales tienen sistemas de control que responden a cambios de su medio externo y los contrarrestan con el fin de mantener las condiciones de su medio interno dentro de unos límites que les permiten sobrevivir. En otras palabras: los animales (y tú entre ellos) intentan en todo momento mantener la *homeostasis* (equilibrio) en su interior.

Existen muchos procesos homeostáticos que mantienen el equilibrio de variables como el pH, la concentración de glucosa y la temperatura corporal de un animal. Para mantener la homeostasis de una determinada variable, el animal debe ser capaz de realizar dos procesos:

- ✓ Medir el cambio que esa variable ha experimentado en el organismo.
- ✓ Responder modificando el comportamiento de los componentes del cuerpo que regulan esa variable.

El principal mecanismo de control homeostático es la *retroalimentación negativa*, que se activa cuando un cambio desencadena una respuesta en sentido opuesto. Por ejemplo, después de comer la glucemia aumenta. El cuerpo responde liberando insulina en el torrente sanguíneo, lo cual aumenta el transporte de glucosa de la sangre a las células y hace que baje la glucemia.



El rango de valores que un organismo puede tolerar para una variable en particular sirve como *punto de ajuste* para mantener la homeostasis. Si se producen cambios en el medio interno, esos cambios se miden y se comparan con el punto de ajuste. La diferencia entre el estado de la variable y el punto de ajuste deseado se utiliza para generar señales que desencadenan acciones, por ejemplo la retroalimentación positiva, destinadas a devolver el cuerpo al punto de ajuste. Por ejemplo, si la glucemia no se mantiene dentro de unos límites determinados se acaba desarrollando diabetes. Después de comer, la glucemia aumenta; entonces la insulina activa una retroalimentación negativa que reduce la concentración de glucosa en la sangre hasta alcanzar valores que quedan dentro de los límites estándar.



Para entender mejor cómo funciona la homeostasis, imagina que el cuerpo es un sistema climatizador. El punto de ajuste deseado se elige configurando el termostato, que se encarga de medir la temperatura de la sala. Si la temperatura es más alta que el punto de ajuste deseado, el termostato envía una señal para activar el aire frío. Cuando la temperatura alcanza el punto de ajuste, el termostato envía una señal para desactivar el aire frío. Igual que el cuerpo, el climatizador tiene un mecanismo que mide el cambio de la variable (en este caso, la temperatura) y luego responde a ese cambio (activando el aire frío o la calefacción).

Al estudiar los procesos fisiológicos del cuerpo humano, se encuentran muchos ejemplos de control homeostático y retroalimentación negativa. Aunque los pormenores de cada sistema de control son diferentes, todos ellos tienen en común tres componentes:

- ✓ **Un receptor.** Mide los cambios de la variable, por ejemplo la presión arterial, la temperatura corporal o la frecuencia cardíaca, y envía la información al centro de control.
- ✓ **Un centro de control.** Puede ser una neurona o una glándula, que

procesa la información, inicia una respuesta para mantener la variable dentro de su rango normal, y comunica esa respuesta a un efector.

- ✓ **Un efector.** Generalmente es un músculo o una glándula, es el que produce la respuesta del cuerpo.



La homeostasis no mantiene las condiciones del cuerpo exactamente igual en todo momento. El punto de ajuste de una variable puede cambiar en función de la situación en que se encuentre el organismo. La temperatura corporal, por ejemplo, cambia a lo largo del día: baja mientras duermes y aumenta cuando haces ejercicio físico. Por lo tanto, gracias a la homeostasis el medio interno se mantiene dentro de unos límites que acotan el rango adecuado para la vida, pero permanece invariable.

La transmisión de mensajes a través de la membrana plasmática

Las células se comunican con otras células, con tejidos y con órganos. Esta comunicación es vital para la integración de todas las funciones corporales y para el mantenimiento de la homeostasis (descrita en el apartado anterior). Las membranas plasmáticas separan las células de su entorno, manteniendo un delicado equilibrio entre el exterior y el interior de la célula (en el capítulo 4 encontrarás más información sobre las membranas plasmáticas). En organismos pluricelulares complejos como los seres humanos, cada célula tiene una función especializada (en el capítulo 19 explicamos cómo se especializan las células). La función de todo el organismo depende del funcionamiento coordinado de todas las células del cuerpo.

Las señales que llegan a la membrana plasmática se transmiten al interior de la célula mediante un proceso llamado *transducción de señales*, durante el cual ocurre lo siguiente:

- 1. Una señal llega a la membrana plasmática de una célula y se une a un receptor.**

Las moléculas señalizadoras que se unen a receptores se llaman *ligandos*. Cada ligando se une a un receptor concreto, de modo que las respuestas celulares a cada señal son muy específicas.

2. El receptor de la membrana plasmática cambia en respuesta a la señal.

Por ejemplo, el receptor puede cambiar de forma.

3. El receptor interacciona con una molécula mensajera del interior de la célula que recibe la señal y también cambia.

4. El mensajero intracelular interacciona con una proteína concreta que provoca un cambio en el comportamiento de la célula.

Este cambio de comportamiento generalmente es el resultado de cambios en la expresión génica (en el capítulo 8 encontrarás más información sobre este tema).

Todo lo que entra debe salir

Los organismos necesitan tomar materia y energía de su entorno para sobrevivir pero ninguna de esas dos cosas se crea ni se destruye, así que las transforman. Las reacciones que hacen posible tal cosa son el metabolismo de un organismo (más información en el capítulo 5).



La *ley de equilibrio de masas* establece que si la cantidad de una sustancia presente en el organismo debe permanecer constante, cualquier entrada debe compensarse con una salida equivalente. En palabras sencillas: tanto entra, tanto sale.

El equilibrio de masas es el principio fundamental que dirige la regulación de varios de los mecanismos y procesos fisiológicos del cuerpo humano, como los siguientes:

- ✓ La concentración de oxígeno y dióxido de carbono en el sistema

respiratorio.

- ✓ El flujo de sangre a través del corazón.
- ✓ La función depuradora de los riñones.
- ✓ El equilibrio hídrico y electrolítico de la sangre.

En todos estos sistemas existen mecanismos de control que devuelven el sistema a una situación de homeostasis cuando se altera el equilibrio de masas.

Capítulo 14

Los sistemas muscular y esquelético: hay que moverse

En este capítulo

- ▶ Ver cómo se desplazan los animales de un lugar a otro
 - ▶ Examinar los distintos sistemas esqueléticos
 - ▶ Comprender por qué los músculos son tan importantes
-

El esfuerzo coordinado de músculos y huesos es lo que hace posible el movimiento de los animales. Los músculos estiran o empujan, y los huesos proporcionan a los músculos algo que estirar o empujar. En este capítulo averiguarás cómo se desplazan los animales de un lugar a otro, descubrirás los distintos tipos de esqueletos y aprenderás las nociones básicas sobre la función muscular.

La locomoción animal

Los peces nadan, los perros corren, las ranas saltan, los gusanos se arrastran y los pájaros vuelan. Cada uno de estos tipos de *locomoción* (el desplazamiento de un lugar a otro) requiere que los animales gasten energía para superar las fuerzas de rozamiento y gravedad que, de otro modo, los mantendrían fijos en un lugar.

- ✓ Cada animal está adaptado al entorno donde vive y al tipo de locomoción que realiza.
- ✓ Los animales nadadores, por ejemplo los peces y las ballenas, tienen cuerpos cuya forma reduce al mínimo la resistencia al avanzar por el agua. Algunos están recubiertos de alguna sustancia viscosa resistente al agua y muchos tienen estructuras que aumentan la flotabilidad.
- ✓ Las aves tienen los huesos huecos y sus alas son parecidas a las de un avión; ambos rasgos hacen que se mantengan mejor y más tiempo en el aire.
- ✓ Los animales que caminan o corren sobre tierra firme, por ejemplo los leones y los elefantes, tienen un esqueleto fuerte y músculos que pueden realizar mucha fuerza.
- ✓ Los conejos, canguros y otros animales que se mueven a saltos tienen los músculos de las piernas muy grandes y unos tendones fuertes que actúan como muelles.
- ✓ Los animales que se arrastran o reptan, como es el caso de los gusanos y las serpientes, tienen el cuerpo con forma tubular y a menudo con una textura viscosa, de manera que se reduce el rozamiento con el terreno.

Tipos de sistemas esqueléticos

El esqueleto sostiene, da forma al cuerpo y protege los órganos internos, pero no todos los animales tienen el mismo tipo de esqueleto. A continuación enumeramos los tres tipos básicos de esqueletos:

- ✓ **Esqueleto hidrostático.** Consiste en cámaras internas llenas de fluidos. Lo tienen, por ejemplo, muchos gusanos, los erizos o las estrellas de mar. El animal se mueve y cambia de forma comprimiendo las cámaras, igual que cuando aprietas un globo de agua.
- ✓ **Exoesqueleto.** Tal y como dice el nombre, se trata de una estructura que está fuera del cuerpo. Probablemente has visto muchas veces el caparazón duro de un cangrejo, un bogavante o muchos insectos. Los

exoesqueletos son rígidos y no se expanden, de manera que los animales tienen que *mudarlos* (cambiarlos) periódicamente a medida que van creciendo. Tras la muda, el nuevo exoesqueleto del animal es blando y se endurece progresivamente.

- ✓ **Endoesqueleto.** Consiste en una estructura dura y rígida que está dentro del cuerpo, lo sostiene y le da forma; o sea, un esqueleto como el tuyo. El de las personas y la mayoría de los vertebrados es duro porque se compone parcialmente de calcio. No obstante hay algunos más blandos y flexibles, como el de los tiburones, que tienen el esqueleto de cartílago, el mismo material que forma las partes blandas de la nariz y las orejas.



Los *invertebrados* tienen o bien esqueleto hidrostático o bien exoesqueleto, lo que significa que carecen de columna vertebral. Los *vertebrados* tienen endoesqueleto, cuya pieza fundamental es la columna vertebral.

En los siguientes apartados desglosamos las partes que forman el esqueleto de un vertebrado y hablamos sobre los componentes más importantes de tu propio esqueleto: los huesos y las articulaciones.

El esqueleto de los vertebrados

El esqueleto de los vertebrados, ya se trate de seres humanos, serpientes, murciélagos o ballenas, proviene de una estructura ancestral (lo cual explica las similitudes existentes entre el esqueleto de una persona y el de un perro o un gato). La relación de estos animales entre sí se hace patente, en parte a través de las *estructuras homólogas*, es decir, estructuras que desempeñaban la misma función en su origen (en el capítulo 12 encontrarás más información sobre estructuras homólogas y su importancia para el estudio de la evolución). Los esqueletos de todos los vertebrados, ya sea el de una persona (fíjate en la figura 14-1), una ballena o un gato, tienen dos componentes principales:

- ✓ **El esqueleto axial.** Es la parte que sostiene la columna central, o eje, del animal. El esqueleto axial está formado por el cráneo, la columna vertebral y la caja torácica. El cráneo protege el cerebro, la columna vertebral protege la médula espinal y la caja torácica protege los pulmones y el corazón.
- ✓ **El esqueleto apendicular.** Es el conjunto de *extremidades* del cuerpo. Está formado por los hombros, la pelvis y los huesos de brazos y piernas.



En algunos vertebrados, por ejemplo las serpientes, el esqueleto apendicular está reducido a su mínima expresión o es inexistente.

A vueltas con los huesos

Si eres aficionado a las películas de indios y vaqueros, quizás hayas visto alguna imagen de huesos blanqueados por el sol en mitad del desierto. Los huesos blancos y secos que salen en esas películas son muy diferentes de los huesos vivos que ahora mismo hay en tu interior. El hueso es un tejido vivo y húmedo que contiene varias capas y tipos de tejidos.

- ✓ El tejido conectivo fibroso que recubre el exterior de los huesos interviene en la reparación de las fracturas.
- ✓ Los osteocitos insertados en la matriz ósea proporcionan rigidez a los huesos. De hecho, son los elementos que componen la matriz ósea, consistente en colágeno endurecido tras la incorporación de cristales de calcio y fosfato.
- ✓ El cartílago que recubre los extremos de los huesos evita erosiones por fricción.

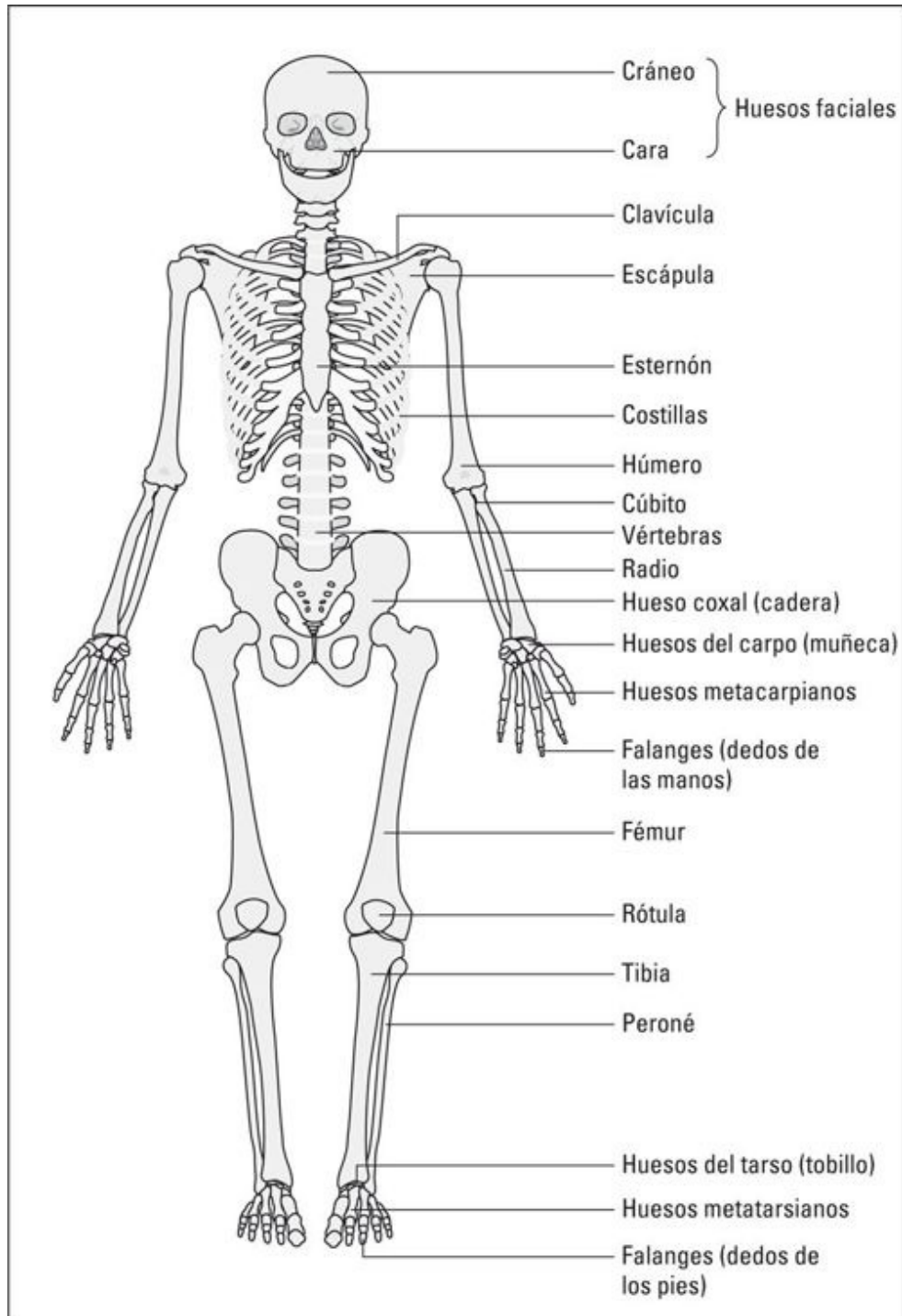


Imagen tomada de LifeART®, Super Anatomy 1, © 2002, Lippincott Williams & Wilkins

Figura 14-1:
El esqueleto humano.



Los huesos vivos están hechos de dos tipos de tejidos:

- ✓ El **tejido óseo esponjoso** presenta multitud de pequeños orificios, similares a los que pueden verse en las rocas volcánicas. Estos orificios están llenos de *médula ósea roja*, la encargada de fabricar las células sanguíneas.
- ✓ El **tejido óseo compacto** es duro y denso. En el interior del hueso compacto hay una cavidad llena de *médula ósea amarilla*, que es en su mayor parte grasa almacenada. Si el cuerpo pierde de repente una gran cantidad de sangre, la médula ósea amarilla se convierte en médula ósea roja para aumentar la producción de células sanguíneas.

¿Te has roto un hueso alguna vez?

Los niños estadounidenses sufren cada vez más fracturas óseas y los médicos creen que este incremento podría deberse a que hacen menos ejercicio y toman menos leche. El ejercicio es importante porque aumenta la densidad de los huesos y favorece su crecimiento. La leche es importante porque el calcio y la vitamina D que contiene son fundamentales para el desarrollo de huesos fuertes y sanos. Los médicos recomiendan la leche por ser una excelente fuente de calcio concentrado, que el organismo absorbe fácilmente. Para alcanzar la cantidad recomendada en la edad adulta, debes beber cuatro vasos diarios de leche u otros alimentos que te aporten la misma cantidad de calcio (unos 1.000 mg), por ejemplo, yogur, queso, etc. Ten en cuenta que la masa ósea deja de aumentar al cumplir los veinte años; pero no creas que tomar mucho calcio va a mejorar la salud de tus huesos, porque pasarse de dosis puede dar problemas de corazón.

Movimiento articulado

Las *articulaciones* son las estructuras donde se unen dos huesos y acoplan su movimiento. Los huesos se mantienen sujetos en las articulaciones gracias a los *ligamentos*, que son como unas tiras de tejido conectivo fuerte y fibroso.



Todos los movimientos de los animales son posibles gracias a tres tipos de articulaciones:

- ✓ Las **articulaciones esferoides** consisten en un hueso con un extremo esférico que encaja en otro hueso que presenta una superficie lisa a modo de receptáculo. Los brazos y las piernas se insertan mediante este tipo de articulaciones y por eso puedes girarlos en todas direcciones.
- ✓ Las **articulaciones trocoides** realizan un movimiento de rotación en un solo eje. Cuando giras el antebrazo para orientar la palma hacia arriba y luego otra vez hacia abajo, estás utilizando una articulación trocoide.
- ✓ Las **articulaciones trocleares**, también llamadas de bisagra, te permiten acercar o alejar dos huesos, como cuando abres y cierras un libro. Los codos y las rodillas tienen articulaciones trocleares que hacen posible la extensión y flexión de brazos y piernas.

Por qué los músculos son tan importantes

Los músculos son extremadamente importantes para el cuerpo y no solo porque cuando están bien tonificados te proporcionan mejor aspecto y más fuerza. Sin los músculos no podrías caminar, correr ni hacer deporte. Ni siquiera podrías obtener nutrientes de los alimentos ni enviar sangre a los órganos y tejidos.



Aquí tienes una lista de las funciones que desempeñan los músculos:

- ✓ **Dan forma al cuerpo.** La fuerza de la gravedad es implacable; si no fuera por los músculos, te aplastaría contra el suelo. Los músculos se contraen para que puedas empujar contra la superficie de la Tierra y de ese modo permanecer erguido y asumir diferentes posiciones.

- ✓ **Permiten moverse.** Hasta el más mínimo movimiento que hace tu cuerpo, incluso parpadear y sonreír (o fruncir el ceño), está controlado por músculos.
- ✓ **Hacen posible la digestión de los alimentos.** Los músculos del tracto digestivo son los que hacen bajar la comida y luego la expulsan. La *peristalsis*, que es como se llama la impulsión de los alimentos a través del esófago, el estómago y los intestinos, se debe a la contracción de estos músculos. Si no se contrajeran para que la comida progresara por el aparato digestivo, la función de nutrición no sería posible.
- ✓ **Influyen en el flujo sanguíneo.** Los vasos sanguíneos contienen tejido muscular capaz de dilatarlos o contraerlos para que la sangre fluya más de prisa o más despacio. La contracción muscular también es responsable de la circulación de la sangre por las venas. Además, el corazón es un músculo, ¡si no lo tuvieras, la sangre se quedaría estancada!
- ✓ **Ayudan a mantener la temperatura corporal.** Los músculos emiten calor cuando se contraen y el cuerpo utiliza ese calor para mantener la temperatura corporal, ya que continuamente estás perdiendo calor a través de la piel. Esto explica por qué tiembles cuando tienes frío: el temblor es la manera que tiene el cuerpo de generar calor.
- ✓ **Mantienen el esqueleto unido.** Los ligamentos y los tendones que hay en los extremos de los músculos envuelven las articulaciones y de este modo mantienen los huesos unidos.

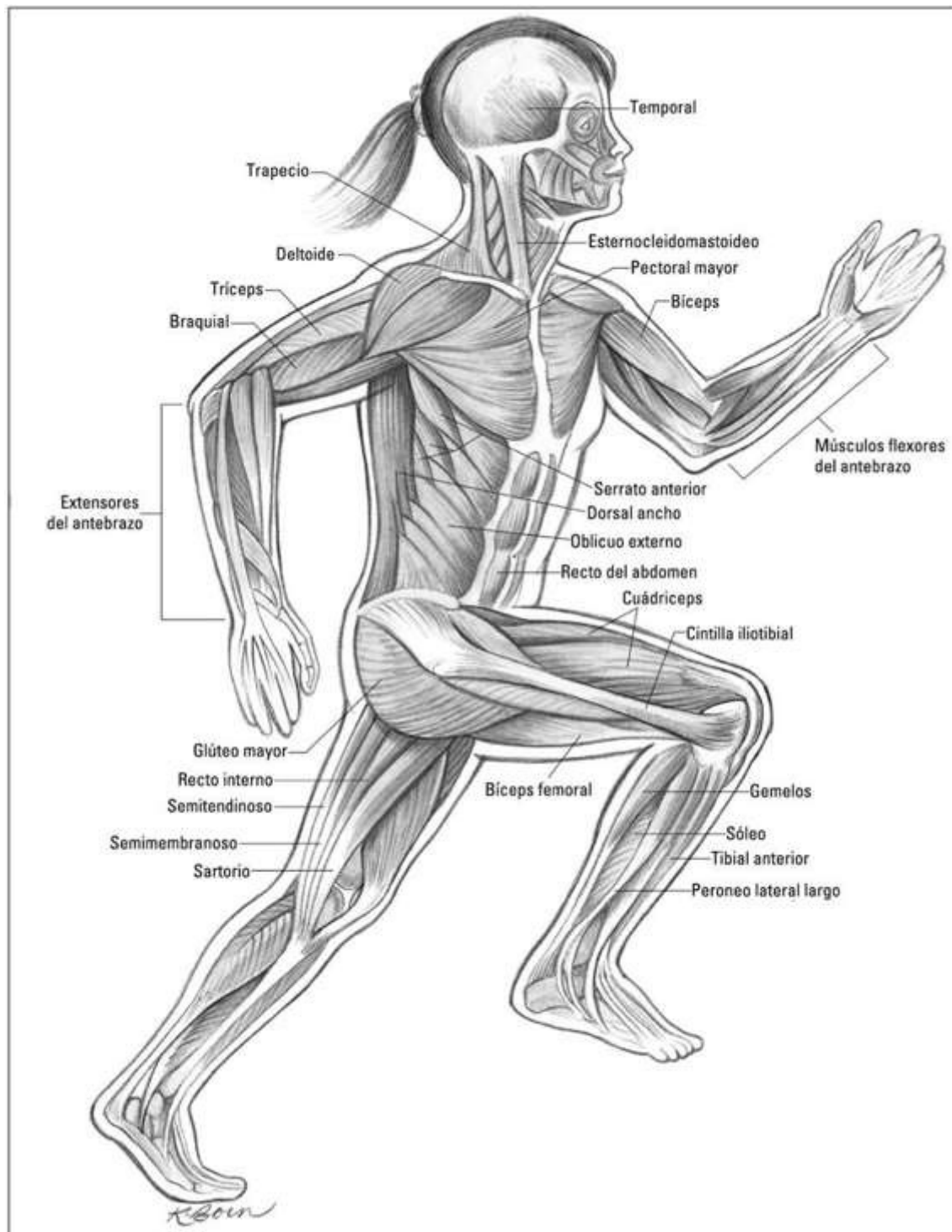


Figura 14-2:
Sistema muscular humano.

La figura 14-2 muestra varios músculos del cuerpo humano. En los siguientes

apartados hablamos sobre los distintos tipos de tejido muscular y sobre el mecanismo de contracción de los músculos.

Tejido muscular y fisiología

El tejido muscular se compone de fibras musculares, las cuales, a su vez, contienen muchas *miofibrillas* (las partes de la fibra muscular que se contraen). Las miofibrillas están perfectamente alineadas, y por eso los músculos tienen aspecto *estriado*. La unidad de repetición de estas estriaciones (con franjas claras y oscuras) se llama *sarcómero*.



Hay tres tipos de tejido muscular, que se diferencian por la morfología de las fibras (cada fibra es una célula):

- ✓ La **musculatura cardíaca** se encuentra en el corazón. Las fibras de la musculatura cardíaca tienen un solo núcleo (es decir, son *mononucleadas*), son estriadas (presentan franjas claras y oscuras), tienen forma cilíndrica y están ramificadas. Las fibras están interconectadas y eso permite que las contracciones puedan extenderse rápidamente por todo el corazón. Entre contracción y contracción, las fibras cardíacas se relajan por completo, lo cual permite que el músculo no se fatigue. La contracción del músculo cardíaco es totalmente *involuntaria*, es decir, ocurre sin estimulación nerviosa y no requiere el control consciente.
- ✓ La **musculatura lisa** se encuentra en las paredes de órganos internos huecos, por ejemplo el estómago, la vejiga urinaria, los intestinos o los pulmones. Las fibras musculares lisas son mononucleadas y fusiformes, están dispuestas en líneas paralelas y forman capas de tejido muscular. Los músculos lisos se contraen de forma involuntaria y más despacio que los músculos esqueléticos, por lo que pueden permanecer contraídos durante más tiempo y no se fatigan tan fácilmente.
- ✓ La **musculatura esquelética** es probablemente lo que visualizas cuando

piensas en un músculo. Las fibras de los músculos esqueléticos tienen muchos núcleos (es decir son *plurinucleadas*), son estriadas y cilíndricas, y tan largas como el músculo. La musculatura esquelética está controlada por el sistema nervioso (que describimos en el capítulo 18). El movimiento y la contracción de la musculatura esquelética puede estimularse conscientemente, lo que significa que puedes tomar la decisión de cuándo levantarte y cruzar la habitación caminando, una acción que requiere la intervención de los músculos. Por esta razón se dice que la contracción de la musculatura esquelética es *voluntaria*.

Contracción muscular

Las contracciones musculares dependen del movimiento de los filamentos que forman las miofibrillas. Básicamente, la contracción muscular se produce cuando los diferentes tipos de filamentos resbalan unos sobre otros; esta teoría general se conoce como *teoría de los filamentos deslizantes*.

En las miofibrillas hay dos tipos de filamentos:

- ✓ **Filamentos de actina (delgados).** Un *filamento de actina*, o *filamento delgado*, se compone de dos hebras de *actina*, una proteína con estructura de doble hélice (igual que el ADN). En los lugares de fijación que hay a lo largo de la doble hélice de actina tiene moléculas de troponina y tropomiosina.
- ✓ **Filamentos de miosina (gruesos).** Un *filamento de miosina*, o *filamento grueso*, contiene grupos de *miosina*, un tipo de proteína con un extremo bulboso. En el tejido muscular se mezclan numerosas hebras de miosina en direcciones opuestas, con lo que da la impresión de que los dos extremos de los filamentos de miosina son bulbosos.

Los filamentos de actina están unidos a una estriación transversal, llamada *línea Z*, y los filamentos de miosina se encuentran entre los filamentos de actina, no adheridos a las líneas Z. La distancia entre dos líneas Z es la longitud del *sarcómero*, que es la unidad de contracción. Todas estas partes, y algunas más, están representadas en la figura 14-3, donde puedes ver cómo

está conectado el músculo esquelético al sistema nervioso y cómo se contrae.

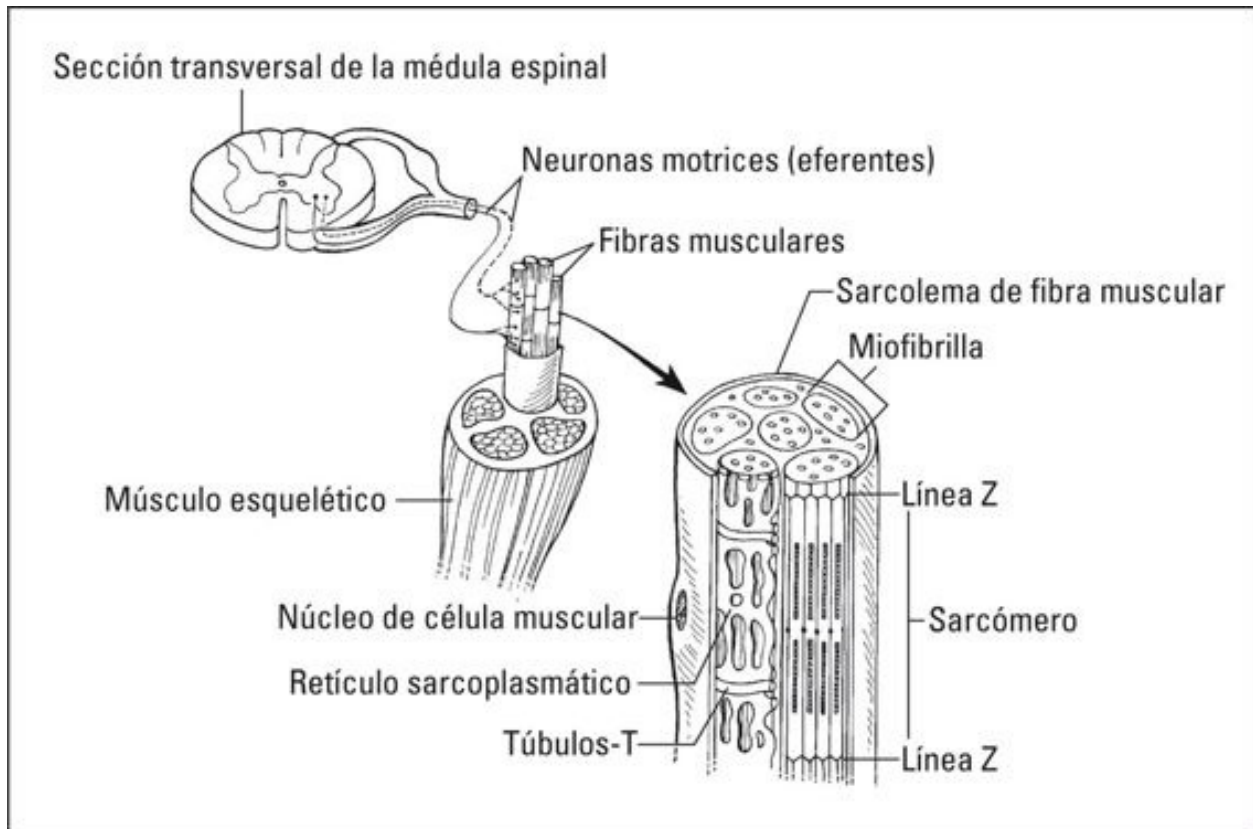


Figura 14-3:

Estructura y funcionamiento de un músculo esquelético.

El otro elemento necesario para la contracción muscular es el adenosintrifosfato (ATP, una molécula almacenadora de energía sobre la que encontrarás mucha información en el capítulo 5). En una fibra muscular hay suficiente ATP para mantener la contracción durante un segundo aproximadamente. Cuando las células musculares han agotado el ATP disponible, obtienen más de diversas maneras:

- ✓ **Utilizando la energía de moléculas de fosfocreatina almacenadas.** La fosfocreatina, formada por ATP y creatina, se produce durante los períodos de no contracción. Este compuesto se degrada rápidamente para liberar más ATP cuando la célula muscular agota el poco ATP del que dispone.
- ✓ **Aumentando la velocidad de respiración celular.** Las células

musculares tienen montones de *mitocondrias*, los orgánulos celulares que llevan a cabo la respiración celular, durante la cual las mitocondrias consumen oxígeno y descomponen las moléculas de los alimentos. La energía la transfieren al ATP (este proceso se describe en el capítulo 5). Cuando las células musculares agotan el ATP tú respiras más de prisa y así les suministras más oxígeno para la respiración celular.

- ✓ **Reciclando moléculas de ADP para obtener ATP.** Cada vez que una célula muscular utiliza una molécula de ATP para conseguir energía, se pierde un fosfato y se produce adenosindifosfato (ADP). Las células musculares humanas cogen las moléculas de ADP producidas durante la contracción y las recombinan de dos en dos para fabricar una nueva molécula de ATP más una molécula de adenosinmonofosfato (AMP).
- ✓ **Recurriendo a la fermentación del ácido láctico.** La *fermentación del ácido láctico*, que produce una pequeña cantidad de ATP mediante la degradación parcial de la glucosa, es la situación más desfavorable para las células musculares. Por cada molécula de glucosa que degradan mediante la respiración celular, las células fabrican mucha más cantidad de ATP que mediante la fermentación del ácido láctico. Por lo tanto, las células únicamente recurren a la fermentación del ácido láctico cuando no pueden obtener ATP a través de la respiración celular, una situación que puede darse cuando se agotan las reservas de oxígeno del organismo.



La teoría de los filamentos deslizantes explica cómo ocurre la contracción muscular:

1. Una molécula de ATP se fija al extremo bulboso de un filamento de miosina y se divide en una molécula de ADP más una molécula de fosfato inorgánico (P_i). El ADP y el P_i permanecen unidos a la miosina.
2. El ión calcio se fija a la troponina del filamento de actina; eso hace que la tropomiosina se quite de enmedio para que los lugares de fijación del filamento de actina puedan abrirse.

3. Cuando los lugares de fijación del filamento de actina están expuestos, la miosina se fija a la actina y libera el ADP y el P_i .
4. Cuando la miosina libera el ADP y el P_i para que pueda unirse a la actina, la forma del extremo bulboso del filamento de miosina cambia y el filamento de actina se desliza hacia el centro del sarcómero, acercando las líneas Z de los extremos.

El resultado es un acortamiento, o contracción, de la fibra muscular.

5. La conexión entre los filamentos de actina y miosina se rompe cuando otra molécula de ATP se fija al extremo bulboso del filamento de miosina.

Capítulo 15

Los sistemas respiratorio y circulatorio: la vida fluye

En este capítulo

- ▶ Descubrir las cuatro maneras en que los animales intercambian gases
 - ▶ Comprender cómo el sistema circulatorio alimenta a las células y se deshace de los residuos
 - ▶ Examinar el corazón y el sistema circulatorio de animales no muy complejos
 - ▶ Seguir el camino de la sangre a través del corazón y los vasos sanguíneos
 - ▶ Estudiar el fluido más importante del cuerpo humano: la sangre
-

Todos los seres vivos necesitan intercambiar materiales (comida, oxígeno y productos de deshecho) con su entorno y hacer circular esos materiales por todo el organismo. Los animales complejos intercambian gases (por ejemplo oxígeno y dióxido de carbono) con el medio externo mediante el sistema respiratorio y transportan los nutrientes y los gases por todo el cuerpo mediante el sistema circulatorio (a menudo llamado aparato cardiovascular cuando se trata de animales vertebrados).

En este capítulo presentamos algunos de los procesos que utilizan los

animales para intercambiar y transportar materiales importantes. En particular, nos centramos en los pormenores del sistema respiratorio y del sistema circulatorio de las personas.

Cómo respiran los animales

Todos los animales, desde los gusanos y los peces hasta los insectos y las personas, necesitan intercambiar gases con el medio de forma continuada durante toda la vida. Los animales simples intercambian gases a través de toda la superficie corporal, mientras que los animales más complejos tienen un aparato respiratorio que procesa el aire del entorno. Este último grupo utiliza la respiración para captar oxígeno en estado gaseoso del aire y, al mismo tiempo, expulsar dióxido de carbono. En último término, sea cual sea el método empleado, el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono entre el animal y su entorno tiene lugar a través de una superficie húmeda.



La *respiración* es el proceso de inhalar oxígeno, cambiar los gases innecesarios y nocivos por gases necesarios, utilizar esos gases necesarios y expulsar los residuales.

Los animales utilizan cuatro sistemas diferentes de intercambio gaseoso que examinamos a fondo en los siguientes apartados:

- ✓ El **intercambio epitelial** tiene lugar a través de la superficie externa del animal. Es el sistema que utilizan los gusanos y los anfibios.
- ✓ Las **branquias** son unas estructuras externas a través de las que se intercambian gases en el medio acuático; por eso están presentes en muchas formas de vida marina.
- ✓ Los **sistemas de intercambio traqueal** consisten en una red de tubos que terminan en orificios para transportar el oxígeno y el dióxido de carbono por el cuerpo de ciertos tipos de insectos.
- ✓ Los **pulmones** son estructuras internas que utilizan la difusión para el

intercambio de gases con el entorno. Los animales terrestres (y entre ellos los humanos) y los mamíferos marinos (por ejemplo delfines y ballenas) tienen pulmones.

Intercambio epitelial

Para entender el intercambio tegumentario, o epitelial, primero hay que saber qué es un tegumento. El *tegumento* es el revestimiento externo del cuerpo de un animal. En el caso de los gusanos, las ranas y las salamandras, que respiran gracias al sistema tegumentario, el tegumento viene a ser como una membrana exterior; en el caso de las personas, el tegumento es la piel.

Los animales pequeños que siempre están húmedos pueden respirar a través de la piel. El oxígeno del aire se difunde a través de la superficie húmeda del animal y penetra en los fluidos corporales; al mismo tiempo el dióxido de carbono se difunde al exterior (en el capítulo 4 encontrarás una explicación completa de la difusión). Como el oxígeno y el dióxido de carbono se intercambian a través del tegumento, este proceso se llama *intercambio tegumentario*.

Las lombrices de tierra son un ejemplo perfecto del intercambio tegumentario en acción. Debajo de la piel hay una gran abundancia de capilares, que son vasos sanguíneos muy finos. Cuando se desplazan, las lombrices ahuecan la tierra y crean bolsas de aire. La lombriz toma el oxígeno de esas bolsas de aire y expulsa dióxido de carbono a través de su superficie externa.

Si vives en una casa con patio, posiblemente hayas observado que, cuando llueve mucho y el terreno se llena de agua, las lombrices salen fuera y terminan sobre la acera o las losas de la entrada. Bueno, pues en cuanto pueden vuelven a meterse bajo tierra (y no solo porque en la superficie estén a merced de los pájaros). Si se quedaran sobre las losas, su superficie se secaría y eso les impediría absorber oxígeno y expulsar dióxido de carbono. Cuando esto ocurre, la lombriz muere (esta es también la razón de que una babosa frene en seco cuando le echas sal por encima. La sal deshidrata su superficie externa e impide el intercambio gaseoso).

Branquias

Muchos animales que viven en el agua, como las gambas o los peces, tienen *branquias*, que son extensiones de las membranas externas. Las membranas de las branquias son muy delgadas (generalmente tienen una sola célula de grosor), lo cual facilita el intercambio gaseoso. Las branquias están irrigadas por muchos capilares, a los que pasan los gases del agua, que de esta manera se incorporan al torrente sanguíneo del animal acuático. Asimismo, los residuos gaseosos pueden difundirse de los capilares a las células de las branquias y pasar al medio acuático.

El tipo de branquia que posiblemente conozcas mejor es el de los peces. En los peces, las branquias, o agallas, son unos filamentos membranosos cubiertos por una especie de tapa dura llamada *opérculo*. El pez abre y cierra el opérculo abriendo y cerrando la boca. Cuando el agua penetra en la boca, atraviesa las branquias y sale por la parte posterior del opérculo. El agua circula en una sola dirección y la sangre del interior de las branquias se mueve en la dirección opuesta. El oxígeno del agua se difunde al interior de los capilares de las branquias y el dióxido de carbono se difunde al exterior. Una vez que el oxígeno ha entrado en los capilares, es transportado por el cuerpo del pez y a todas las células les llega ese gas tan necesario.



Como el agua del exterior y la sangre del interior de las branquias circulan en direcciones opuestas, se dice que el intercambio de gases en los peces es un *intercambio a contracorriente*. Este sistema aumenta la eficiencia del intercambio gaseoso.

Sistemas de intercambio traqueal

Las *tráqueas* son unos tubos que configuran una red y conectan con el exterior del animal mediante unas aberturas llamadas *espiráculos*, repartidas por todo el cuerpo. Este es el sistema que utilizan los insectos.



Las tráqueas de los insectos (de los artrópodos en general) no tienen nada que ver con la tráquea de las personas. En los insectos, las tráqueas son tubos que recorren todo el cuerpo y conectan con el exterior, mientras que en los seres humanos la tráquea es un tubo que conduce el aire a los pulmones.

En un sistema de intercambio traqueal, el oxígeno se difunde directamente del aire al interior de las tráqueas, y el dióxido de carbono sale a través de los espiráculos. Las células del cuerpo intercambian aire con las tráqueas, y el oxígeno y el dióxido de carbono no tienen que transportarse mediante un sistema circulatorio porque el sistema traqueal pasa por todas las células del cuerpo del insecto.



Algunos insectos, por ejemplo las abejas y los saltamontes, combinan un proceso de respiración con un sistema de intercambio traqueal: contraen músculos para forzar la entrada y la salida del aire. Los saltamontes incluso tienen unos pequeños sacos de aire en algunos de los tubos de su sistema traqueal. Esos sacos actúan como fuelles cuando los músculos ejercen presión sobre ellos.

Pulmones

Los pulmones son lo contrario de las branquias: las branquias se encuentran en el exterior del organismo, mientras que los pulmones son estructuras internas. Los pulmones de los animales están alojados en el interior del cuerpo y allí se mantienen siempre húmedos, ya que su función es proporcionar una gran superficie húmeda para que tenga lugar la difusión del oxígeno y del dióxido de carbono. Los pulmones de los animales terrestres adoptan diferentes tamaños y formas, pero, básicamente, todos funcionan igual que los de las personas. En este libro nos referiremos a los seres humanos como modelo para explicar la mecánica de los pulmones y el funcionamiento del sistema respiratorio pulmonar.

Las personas tenemos un par de pulmones en el interior de la cavidad torácica (puedes verlos en la figura 15-1), uno a cada lado de la *tráquea* (el tubo que conecta la nariz y la boca con los pulmones). En el interior de los pulmones, la tráquea se bifurca en unos conductos tubulares llamados *bronquios*, que a su vez se ramifican en conductos cada vez más pequeños llamados *bronquiolos*. Los bronquiolos terminan en unos racimos de pequeñas vesículas húmedas llamadas *alvéolos*, cuya forma recuerda un poco a las frambuesas. Cada *alvéolo* está rodeado de capilares que hacen posible el intercambio de gases entre los pulmones y la sangre. El músculo que hay debajo de los pulmones se llama *diafragma* y su función es crear presión negativa, que provoca la entrada de aire en los pulmones. La cavidad torácica está rodeada por las costillas, que protegen los pulmones (y el corazón) y ayudan en los movimientos de la respiración.

Como los pulmones son el sistema de intercambio gaseoso más complejo que emplean los animales, en los siguientes apartados lo explicamos con todo detalle.

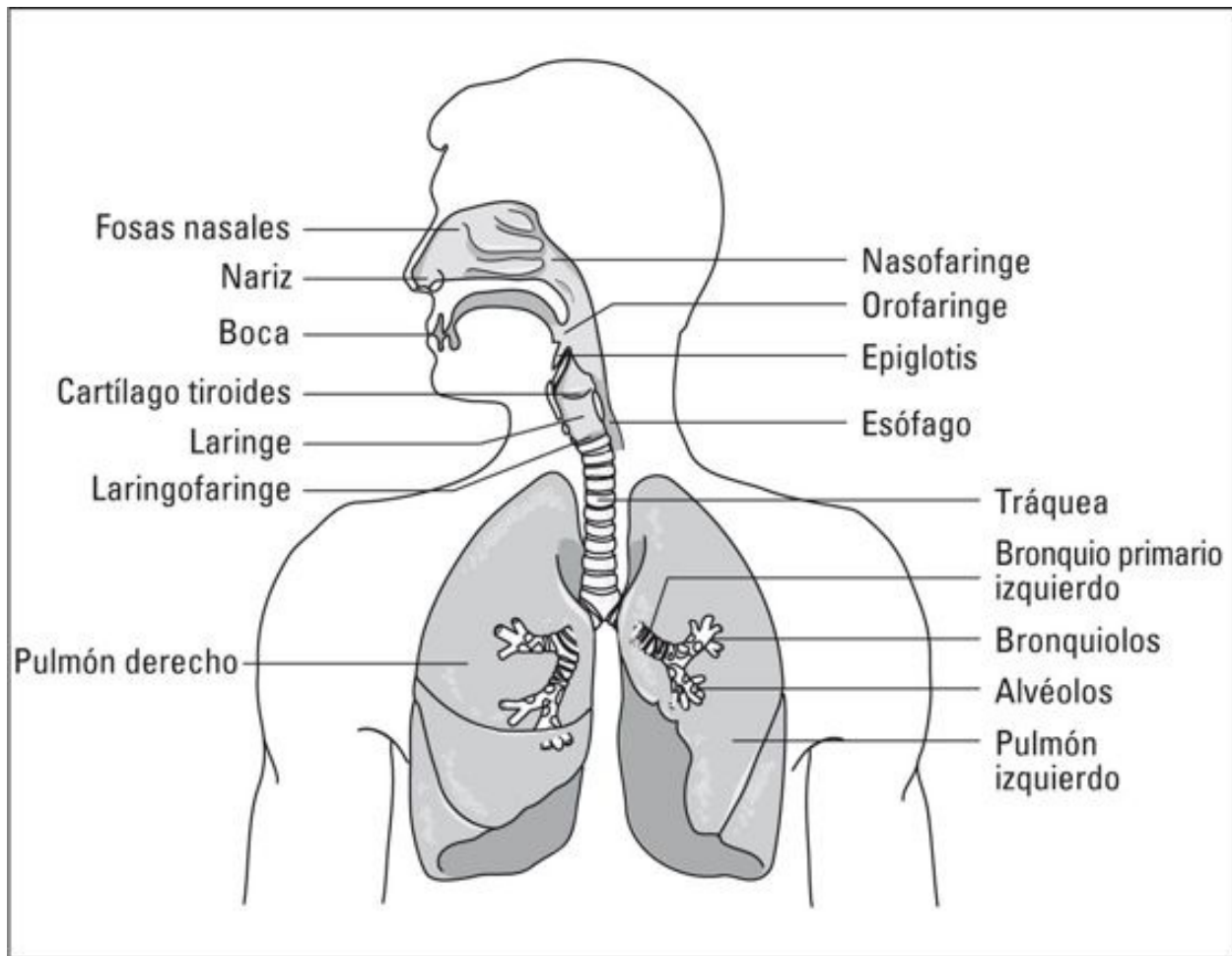


Imagen tomada de LifeART®, Super Anatomy 1, © 2002, Lippincott Williams & Wilkins

Figura 15-1:
Estructuras anatómicas del sistema respiratorio humano.

Qué pasa cuando respiras

Cuando coges aire mediante una *inhalación* o *inspiración*, el diafragma se contrae (se hace más pequeño y se desplaza hacia abajo) y la caja torácica puede moverse hacia arriba y hacia fuera. Como los pulmones disponen de más espacio, se inflan igual que un globo al llenarlo de aire. Al expandirse, los pulmones aumentan su capacidad, con lo que el aire entra en ellos para llenarlos. Cuando el diafragma se relaja, la caja torácica se desplaza de nuevo hacia abajo y hacia dentro, lo cual aumenta la presión interior de los pulmones y hace que el aire salga. La acción de expeler el aire respirado se llama *exhalación* o *espiración*.

A continuación te explicamos paso a paso el recorrido que sigue el oxígeno

por el sistema respiratorio cuando llenas de aire los pulmones:

1. El aire entra por las ventanas de la nariz (o por la boca) y circula por la parte superior de la garganta.

En el interior de las fosas nasales, las vellosidades y la mucosidad atrapan las partículas de polvo y suciedad y así depuran el aire que penetra en los pulmones. Hay veces que no tienes otro remedio que toser y escupir o tragar para mover las partículas que tienes atrapadas en la garganta (no pasa nada por tragar un poco de suciedad; entra en el estómago, la digieres y luego la excretas).

2. A continuación, el aire llega a la parte central de la garganta y atraviesa las cuerdas vocales abiertas.



Cuando comes, los alimentos bajan por la garganta (o *faringe*) hasta llegar al estómago. Cuando respiras, el aire circula por la faringe hasta llegar a los pulmones. Por lo tanto, tanto la boca como la nariz están conectados con la faringe. El lugar de unión con la boca se llama *orofaringe*, y el lugar de unión con la nariz se llama *nasofaringe*.

3. Luego el aire pasa por la tráquea, penetra en los bronquios y bronquiolos y fluye hasta el interior de los alvéolos.

Los capilares que rodean los alvéolos están preparados para recibir oxígeno y ceder dióxido de carbono (observa la figura 15-2). Ambos gases se difunden a través de las membranas de los alvéolos; luego los capilares conducen la sangre oxigenada al sistema circulatorio.



El intercambio gaseoso tiene lugar únicamente en los alvéolos.

El concepto de difusión

Tal y como explicamos en el capítulo 4, la *difusión* es el paso de una sustancia de una zona de mayor concentración a otra de menor concentración. El intercambio de gases en los pulmones es un ejemplo de difusión.

En el interior de cada uno de los 300 millones de alvéolos pulmonares la concentración de oxígeno es mayor que en los capilares que rodean a esos alvéolos. A su vez, en los capilares la concentración de dióxido de carbono es más alta que la de oxígeno. El oxígeno de los alvéolos se difunde a través de las membranas alveolares hacia los capilares; así llega a la sangre. Al mismo tiempo, el dióxido de carbono se difunde a través de los capilares y atraviesa las membranas alveolares para ser expulsado del cuerpo. Cuando el oxígeno ha llegado a los capilares, los glóbulos rojos lo capturan y lo transportan por todo el cuerpo. Mientras esto ocurre, el diafragma se relaja y el dióxido de carbono residual sale del cuerpo al espirar.

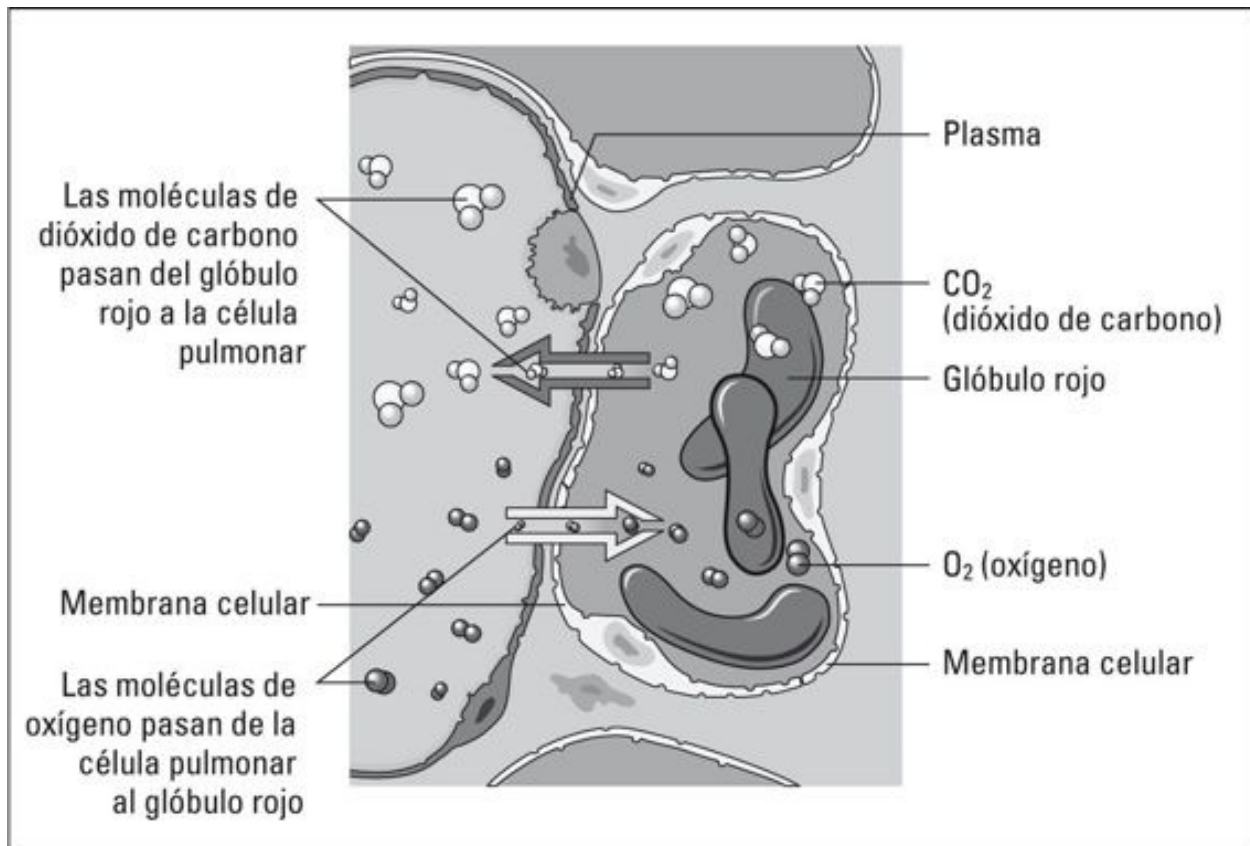


Figura 15-2:
Oxigenación de la sangre en la membrana respiratoria.

Circulación: entran nutrientes, sale basura

Todos los animales vivos tienen un sistema circulatorio. Este sistema se encarga de que todas las células del animal obtengan los nutrientes necesarios para funcionar y de que además eliminen sus residuos para evitar que se acumulen en el organismo y causen enfermedades (o incluso la muerte). Además, el sistema circulatorio desempeña estas otras funciones:

- ✓ Suministrar oxígeno a las células y recoger dióxido de carbono.
- ✓ Distribuir hormonas a las células.
- ✓ Mantener la temperatura corporal transportando calor.
- ✓ Transportar células para combatir infecciones (encontrarás más información al respecto en el capítulo 17).

Existen dos tipos de sistemas circulatorios: abiertos y cerrados. En los siguientes apartados nos referimos a ambos.

Sistemas circulatorios abiertos

En un sistema circulatorio abierto, el corazón del animal bombea un fluido similar a la sangre llamado *hemolinfa*, que llena la cavidad interna (llamada *hemocele*) a través de unos orificios del corazón llamados *ostiolos*. Cuando la hemolinfa entra en el hemocele, baña directamente los tejidos del organismo (sin vasos sanguíneos de por medio) y les suministra los nutrientes. Las contracciones musculares hacen que la hemolinfa regrese al corazón, para que pueda circular una y otra vez por todo el organismo del animal. Los insectos y algunos moluscos (en concreto los gasterópodos —como los caracoles— y los bivalvos —como las almejas—) tienen un sistema circulatorio abierto.



En los insectos, la hemolinfa transporta los nutrientes a las células, pero no oxígeno. El oxígeno circula mediante el sistema de intercambio traqueal (descrito anteriormente en este mismo capítulo).

Sistemas circulatorios cerrados

Los sistemas circulatorios cerrados son los que mejor conoces. Tienen una red de vasos que se encargan del transporte (vienen a ser como autopistas que conectan un órgano con otro) e impiden que la sangre se salga. En los animales, los vasos sanguíneos de la red se encargan de transportar nutrientes y oxígeno a las células, y eliminar residuos y dióxido de carbono.



Hay tres tipos de vasos sanguíneos:

- ✓ Arterias
- ✓ Venas
- ✓ Capilares

Todos los animales *vertebrados* y algunos *invertebrados*, como los gusanos y los moluscos cefalópodos (pulpos, sepias y calamares), tienen un sistema circulatorio cerrado.



Los sistemas circulatorios cerrados, llamados así por tener vasos que contienen el líquido, son más eficientes que los sistemas circulatorios abiertos porque cumplen la doble función de suministrar oxígeno y nutrientes a las células.

Los animales simples también tienen corazón

Hay corazones de todas las formas y los tamaños, pero su función es idéntica en todos los organismos que lo tienen: bombear un fluido por todo el sistema circulatorio. Ese fluido puede ser hemolinfa o sangre, dependiendo del tipo de sistema circulatorio, y se encarga de transportar nutrientes o una combinación de nutrientes y oxígeno a las células del animal.

En los animales que tienen un sistema circulatorio abierto, este proceso ocurre

siempre de la misma manera. Sin embargo, en el caso de los animales con sistema circulatorio cerrado, el proceso varía en función de la configuración del sistema. En los apartados siguientes explicamos a grandes rasgos cómo se desarrolla este proceso en dos tipos de animales simples: lombrices y peces.

El corazón y el sistema circulatorio de una lombriz

A lo mejor crees que las lombrices de tierra son insectos y que tienen un sistema circulatorio abierto, pero no es así (su grupo taxonómico es el de los *anélidos*). En realidad tienen un sistema circulatorio cerrado, con un diseño un poco más sencillo que el de una persona.

Las lombrices solamente tienen un vaso sanguíneo *dorsal* (en la parte de arriba) y otro *ventral* (en la parte de abajo), más una red de capilares. El corazón de una lombriz consiste en una serie de anillos musculares próximos al extremo más grueso del animal. La sangre sale del corazón a través del vaso sanguíneo ventral, se distribuye por los capilares, así llega a todas las células de la lombriz y luego regresa al corazón a través del vaso sanguíneo dorsal.

El corazón y el sistema circulatorio de un pez

El corazón de un pez tiene dos cámaras, una que recibe la sangre del cuerpo y otra que la impulsa hacia las branquias. En este sistema circulatorio cerrado, la sangre solo pasa una vez por el corazón en cada vuelta. El proceso en sí es bastante simple:

- 1. Cuando el ventrículo del corazón se contrae, la sangre sale del corazón por la aorta ventral que recorre la parte inferior del pez.**
- 2. La sangre llega a las branquias, pasa por los capilares y se oxigena.**
Esta parte del recorrido circulatorio se llama *circulación branquial*.
- 3. La sangre oxigenada fluye inmediatamente de las branquias a la aorta dorsal, que discurre a lo largo de la parte superior del pez.**

- 4. La aorta dorsal transporta la sangre oxigenada al resto de los capilares del pez. Esta parte del recorrido circulatorio se llama *circulación sistémica*.**
- 5. Después de llegar a todas las células del pez, la sangre regresa al corazón.**

El sistema circulatorio de un pez es simple pero eficaz; sin embargo, como la sangre pasa una sola vez por el corazón en cada vuelta, la presión sanguínea es bastante baja (la *presión sanguínea* es la fuerza que impulsa la sangre por el sistema circulatorio de un animal).

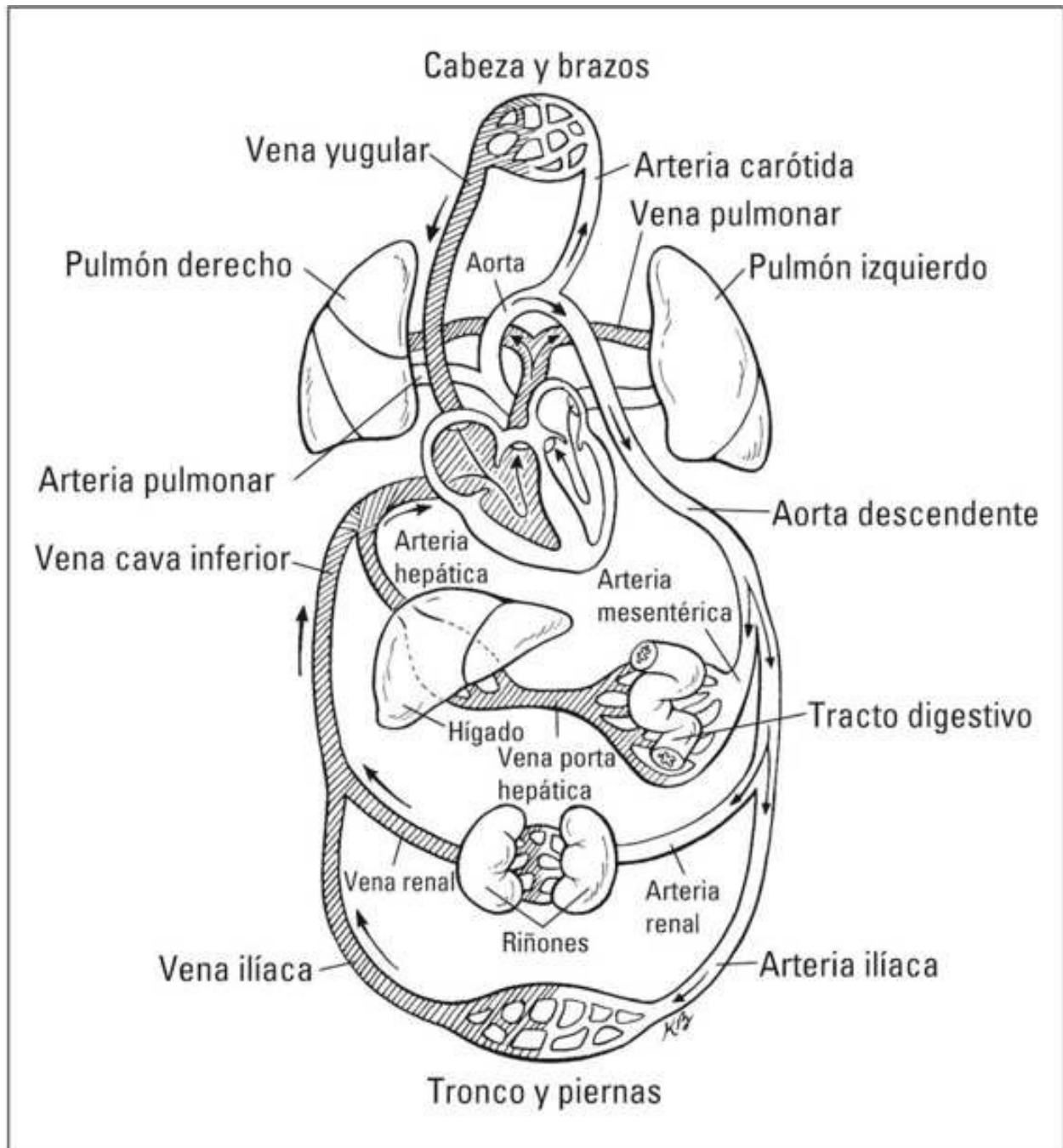


Figura 15-3:
La circulación pulmonar y la circulación sistémica se complementan.

El corazón y el sistema circulatorio del ser humano

El corazón y el sistema circulatorio de las personas, y también de otros

mamíferos, son complejos. Como estos animales son más grandes, necesitan una presión sanguínea mayor para que la sangre recorra todo el cuerpo. Tal necesidad se traduce en un *sistema circulatorio doble*, con dos circuitos distintos (como puedes ver en la figura 15-3):

- ✓ El circuito de la *circulación pulmonar* lleva sangre pobre en oxígeno a los pulmones; allí se oxigena y luego el circuito conduce la sangre oxigenada de vuelta al corazón.
- ✓ El circuito de la *circulación sistémica* transporta la sangre oxigenada desde el corazón hasta el resto del cuerpo.



El corazón humano (representado en la figura 15-4) tiene cuatro cámaras: dos *ventrículos*, que impulsan la sangre hacia los vasos sanguíneos, y dos *aurículas*, que se vacían y trasvasan la sangre a los ventrículos. El corazón está dividido por la mitad, de manera que hay una aurícula y un ventrículo izquierdos, y una aurícula y un ventrículo derechos. Las dos aurículas se encuentran en la parte superior del corazón y los dos ventrículos, en la parte inferior.

Si la figura 15-4 te parece confusa porque te da la impresión de que la aurícula derecha está en el lado izquierdo del corazón, imagina que tienes rayos X en los ojos y estás viendo el corazón de otra persona a través de su pecho. La aurícula derecha de esa persona se encuentra en el lado derecho de su cuerpo, que es como la hemos representado en la figura.



El corazón de una persona está dividido en dos mitades a causa de que nuestro sistema circulatorio es doble. El lado derecho del corazón envía sangre a los pulmones, mientras que el lado izquierdo la manda al resto del cuerpo. Cada latido impulsa sangre a los dos circuitos.

Las dos cámaras del corazón están separadas por *válvulas*. Cada válvula se compone de dos membranas fuertes de tejido muscular llamadas *cúspides* o

valvas. Cuando el corazón funciona correctamente, las válvulas se abren y se cierran por completo, de manera que la sangre solo puede circular en una dirección.

Hay cuatro válvulas que separan las cuatro cámaras cardíacas entre sí y también de los grandes vasos sanguíneos conectados al corazón (puedes verlo en la figura 15-4).

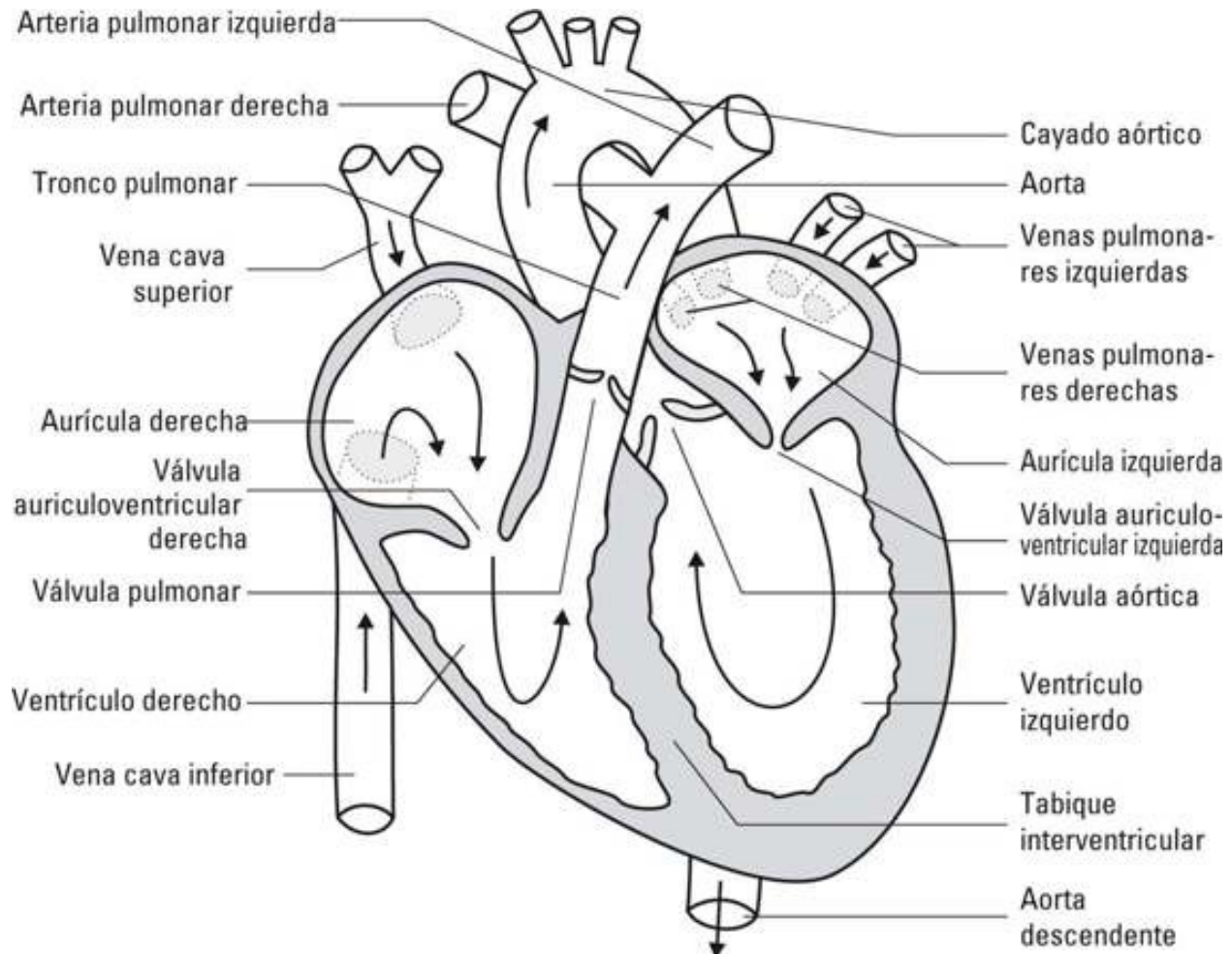


Figura 15-4:

Las estructuras del corazón humano y el flujo de sangre a través de ellas.

- ✓ La *válvula auriculoventricular derecha* se encuentra entre la aurícula derecha y el ventrículo derecho. Esta válvula también se llama *válvula tricúspide* porque está formada por tres valvas o cúspides.
- ✓ La *válvula pulmonar*, con forma de media luna, separa el ventrículo

derecho de la arteria pulmonar.

- ✓ La *válvula auriculoventricular izquierda* se encuentra entre la aurícula izquierda y el ventrículo izquierdo. Esta válvula también se llama *válvula bicúspide* (quizá la estudiaste como válvula mitral, pero ese término ya no se usa) porque está formada por dos valvas o cúspides.
- ✓ La *válvula aórtica*, también con forma de media luna, separa el ventrículo izquierdo de la aorta.

En los apartados siguientes te proponemos un viaje por el sistema circulatorio humano. Te enseñaremos cómo circula la sangre por el corazón y por el resto del cuerpo, y descubrirás qué es lo que causa los latidos. ¡Buen viaje!

Las muchas caras de las cardiopatías

Las cardiopatías son la principal causa de muerte en Estados Unidos. Los fallecimientos por trastornos cardíacos suelen atribuirse a infartos de miocardio, pero estos pueden estar causados por muchos factores, entre ellos los siguientes:

- ✓ **Ateroesclerosis.** Cuando en las paredes interiores de las arterias se acumulan grasas, en particular colesterol, al final se obstruye el conducto. El colesterol cumple una función necesaria en el organismo, pero cuando hay demasiada cantidad (por la dieta o por factores genéticos), empieza a adherirse a los vasos en lugar de circular por ellos. Estos depósitos lipídicos se llaman *placas de ateroma*. A medida que aumentan de tamaño, las placas van estrechando la luz arterial y afectan al riego sanguíneo.
- ✓ **Hipertensión.** La *hipertensión* endurece las arterias cardíacas e incrementa el riesgo de daños y depósitos lipídicos en las paredes interiores.
- ✓ **Cardiopatía isquémica.** Una *isquemia* es una situación de falta de oxígeno. Este tipo de cardiopatía puede ocurrir cuando las arterias están parcialmente obstruidas. A las personas aquejadas de esta dolencia les cuesta respirar cuando hacen ejercicio o en momentos de estrés, ya que las arterias obstruidas hacen que la sangre circule más despacio, lo que impide que llegue suficiente oxígeno a los tejidos musculares del corazón. Esta falta de oxígeno puede causar un dolor en el pecho que irradia al brazo izquierdo; este dolor se llama *angina de pecho*.
- ✓ **Tromboembolismo.** Si una arteria se estrecha debido a una placa de ateroma, las células sanguíneas pueden adherirse a la placa y formar un coágulo que viaje por el torrente sanguíneo y acabe obstruyendo un vaso. Un coágulo atascado en un vaso sanguíneo es un *trombo*. Si un trombo se libera y se mueve por el torrente circulatorio, se llama *embolismo*.

El ciclo cardíaco

El corazón es un órgano impresionante. Aunque no es mayor que el puño cerrado de una persona adulta, es capaz de bombear cinco litros de sangre por todo el cuerpo 70 veces por minuto. Además, es un trabajador infatigable. Desde el instante en que comienza a latir (cuando no eras más que un minúsculo embrión en el útero de tu madre) hasta la hora de la muerte, no descansa ni un segundo entero. Genera un latido cada 0,8 s durante toda la vida; esto es lo que se conoce como *ciclo cardíaco*.



Durante el ciclo cardíaco, el corazón impulsa la sangre a los vasos sanguíneos y se toma un brevísimo descanso. Esto es exactamente lo que ocurre:

- ✓ Las aurículas izquierda y derecha se contraen.
- ✓ Los ventrículos izquierdo y derecho se contraen.
- ✓ Las aurículas y los ventrículos descansan (durante tan solo 0,4 s).

Mientras las aurículas y los ventrículos están descansando, las fibras musculares de su interior no están contraídas. Por lo tanto, las aurículas relajadas permiten que la sangre de su interior pase a los ventrículos que hay debajo. Una vez que la mayor parte de la sangre que llenaba las aurículas se ha trasvasado a los ventrículos, las aurículas se contraen para terminar de expulsar la sangre que aún puedan tener dentro. Acto seguido los ventrículos se contraen también para enviar la sangre a los vasos sanguíneos.



El período de relajación del músculo cardíaco se llama *diástole* y el período de contracción se llama *sístole*. Si estos términos te resultan familiares, probablemente sea porque los has oído mencionar asociados a la tensión arterial.

Cuando el médico te mide la tensión arterial y te da, por ejemplo, un valor de

120/80 mmHg, lo que dice es que la *tensión arterial sistólica*, la presión que ejerce la sangre al entrar en las arterias cuando se contraen los ventrículos, es de 120 mmHg; y que la *tensión arterial diastólica*, la presión de los vasos sanguíneos cuando las fibras musculares están relajadas, es de 80 mmHg. El símbolo *mmHg* representa la unidad de presión milímetros de mercurio (*Hg* es el símbolo químico del mercurio).



Si tienes la tensión arterial a 140/90 mmHg, que es el límite entre tensión normal e hipertensión, significa que tu corazón tiene que esforzarse más de lo normal para bombear la sangre por todo el cuerpo y no se relaja como debería entre latido y latido. Esta medida indica que algo está obligando a tu corazón a trabajar más para que la sangre siga circulando en todo momento, y por eso está sobrecargado. La causa puede ser un desequilibrio hormonal, que la alimentación está desequilibrada (demasiado sodio o cafeína), un problema mecánico del corazón, un efecto secundario de algún medicamento o una obstrucción en los vasos sanguíneos.

El camino de la sangre por el cuerpo

El *ciclo cardíaco*, que describe la contracción y relajación rítmicas del músculo cardíaco (tal como se ha explicado en el apartado anterior), es el que determina el flujo de la sangre por el cuerpo. Cuando las aurículas y los ventrículos se contraen, la sangre es impulsada hacia los grandes vasos sanguíneos conectados al corazón y luego continúa su camino por el sistema circulatorio. Dicho de otro modo: ahora es cuando el sistema circulatorio doble entra en acción.

Los siguientes apartados describen la circulación pulmonar y la circulación sistémica, así como el intercambio capilar (mediante el cual las células reciben nutrientes y se deshacen de sus residuos).

Circulación pulmonar: oxigenar la sangre

La *circulación pulmonar*, el primer circuito del sistema circulatorio doble,

lleva la sangre a los pulmones para que se oxigene. A continuación te mostramos paso a paso el camino que sigue la sangre durante la circulación pulmonar (mientras lees puedes ir siguiendo el recorrido en la figura 15-4).

- 1. La sangre sin oxígeno del cuerpo entra en la aurícula derecha del corazón a través de las venas cavas superior e inferior.**

Como su propio nombre indica, la vena cava superior se encuentra en la parte de arriba de la aurícula derecha, y la vena cava inferior se encuentra en la parte de abajo.

- 2. La aurícula derecha se vacía y la sangre sin oxígeno pasa al ventrículo derecho a través de la válvula auriculoventricular derecha.**

Cuando los ventrículos se contraen, la válvula auriculoventricular derecha cierra el paso y la sangre no puede retroceder desde el ventrículo a la aurícula.

- 3. El ventrículo derecho se contrae y envía la sangre sin oxígeno a la arteria pulmonar a través de la válvula pulmonar.**

La válvula pulmonar impide que la sangre regrese al ventrículo derecho después de entrar en la arteria pulmonar.

- 4. La arteria pulmonar conduce la sangre a los pulmones, donde se oxigena.**

Circulación sistémica: distribuir la sangre oxigenada

La *circulación sistémica* lleva la sangre oxigenada a las células del cuerpo. En este circuito, la sangre sigue el recorrido descrito a continuación (puedes ir siguiéndolo en la figura 15-4):

- 1. La sangre recién oxigenada regresa de los pulmones al corazón a través de las venas pulmonares.**



Las venas pulmonares son las únicas venas del cuerpo que

contienen sangre oxigenada; el resto de las venas transportan sangre pobre en oxígeno.

2. **Las venas pulmonares conducen la sangre oxigenada al interior de la aurícula izquierda, que seguidamente se relaja para que la sangre pase al ventrículo izquierdo a través de la válvula auriculoventricular izquierda.**
3. **Cuando el ventrículo izquierdo se contrae, la sangre rica en oxígeno es impulsada a la arteria principal del cuerpo, la aorta.**

Para llegar a la aorta, la sangre atraviesa la válvula aórtica. Esta válvula impide que la sangre regrese desde la aorta al ventrículo izquierdo.

4. **La aorta se ramifica en otras arterias, que a su vez se ramifican en arteriolas que transportan la sangre oxigenada por todo el cuerpo.**

Las arteriolas son el nexo de unión con los capilares, donde el oxígeno se intercambia por dióxido de carbono.



Los cinco tipos de vasos sanguíneos, ordenados de mayor a menor contenido de oxígeno, son los siguientes:

- ✓ Arterias
- ✓ Arteriolas
- ✓ Capilares
- ✓ Vénulas
- ✓ Venas

Intercambio capilar: entregar lo bueno y llevarse lo malo

Aunque son los vasos sanguíneos más pequeños del cuerpo, los *capilares* cumplen una función importantísima: en ellos se produce el intercambio de materiales con las células por medio de la difusión. O dicho de otro modo: hacen posible el *intercambio capilar*.

Las paredes de los capilares tienen una sola célula de espesor y están en

contacto con las membranas de otras células del cuerpo, de manera que su contenido puede pasar fácilmente a estas últimas mediante difusión (en el capítulo 4 encontrarás más información sobre la difusión).



Por medio del intercambio capilar, el oxígeno abandona los glóbulos rojos y penetra en el resto de las células del cuerpo junto con los nutrientes transportados por el torrente sanguíneo. Al mismo tiempo, las células del cuerpo expulsan productos de desecho, entre los que está el dióxido de carbono, que entran en los capilares.

Los capilares, con sangre casi sin oxígeno, transportan los residuos y el dióxido de carbono hasta las venas más pequeñas del cuerpo, llamadas *vénulas*. Las vénulas conectan con otros vasos más grandes llamados venas, que transportan la sangre desoxigenada a la vena principal, la cava. Las dos ramas de la vena cava entran en la aurícula derecha, donde da comienzo la circulación pulmonar.



La presión generada por la contracción de los ventrículos es lo que impulsa la sangre a través de las arterias. Sin embargo, esta presión disminuye a medida que la sangre se aleja del corazón y llega a los capilares. Lo que hace que la sangre circule por las venas no es la propia presión sanguínea, sino la contracción de los músculos. Cuando mueves las extremidades y el tronco, la sangre desoxigenada avanza por las vénulas y venas hasta regresar al corazón. En ausencia de movimiento, la sangre se acumula en las venas y la circulación empeora.

Por qué late el corazón

Los latidos están originados por impulsos eléctricos del músculo cardíaco. Estos impulsos comienzan en zonas concretas del corazón, llamadas *nodos*, donde hay muchísimas terminaciones nerviosas. Los nodos envían señales que estimulan la contracción de las células musculares cardíacas, lo que provoca el

latido. El proceso se describe a continuación:

1. **Cada latido del corazón tiene su origen en una señal eléctrica procedente del nodo sinoauricular (SA), situado en la aurícula derecha.**

El nodo SA, también llamado nodo sinusal, funciona como un *marcapasos natural* porque marca el ritmo de los latidos (en efecto, tu corazón ya tiene su propio marcapasos. Cuando a alguien se le instala un marcapasos mediante una intervención quirúrgica, es porque su marcapasos natural ha dejado de funcionar correctamente).

2. **La señal del nodo SA recorre las aurículas izquierda y derecha y hace que se contraigan, con lo que la sangre pasa a los ventrículos.**
3. **Cuando el impulso eléctrico pasa por las aurículas, es absorbido por el nodo auriculoventricular (AV).**

El nodo AV se encuentra en la parte inferior de la aurícula derecha. Al llegar a este nodo, la señal se ralentiza temporalmente para que los ventrículos tengan tiempo de llenarse de sangre.

4. **La señal del nodo AV estimula una zona de tejido llamada fascículo de His.**

El fascículo de His se encuentra entre los ventrículos derecho e izquierdo y conecta con unas fibras especializadas llamadas fibras de Purkinje.

5. **Cuando el impulso llega a las fibras de Purkinje, los ventrículos se contraen y el latido se completa.**



El ruido que hace el corazón (tac-tac para la mayoría de las personas, pero lub-dub, lub-dub para los médicos) se atribuye al cierre de las válvulas cardíacas. El primer ruido lo producen las válvulas auriculoventriculares al cerrarse para impedir que la sangre de los ventrículos regrese a las aurículas. El segundo ruido (el dub) se debe al cierre de la válvula aórtica y la válvula pulmonar para que la sangre no regrese de la aorta

al ventrículo izquierdo ni de la arteria pulmonar al ventrículo derecho.

Un fluido de importancia vital

La sangre es el fluido que hace posible la vida de los animales que tienen un sistema circulatorio cerrado, entre los que estamos los humanos. Algunas células sanguíneas transportan oxígeno, que es necesario para las reacciones metabólicas; otras luchan contra sustancias invasoras potencialmente destructivas; y un tercer grupo de células sanguíneas ayudan a formar coágulos para sanar las heridas e impedir que el cuerpo pierda una cantidad excesiva de este fluido tanpreciado. En los siguientes apartados hablamos sobre los componentes de la sangre y sobre el proceso especial que impide que pierdas demasiada sangre cuando te haces un corte.

Los elementos sólidos de la sangre

Lo creas o no, la sangre, a pesar de ser un líquido, contiene partes sólidas llamadas *elementos formes*. Estos elementos sólidos son los glóbulos rojos, los glóbulos blancos y las plaquetas. En los apartados siguientes encontrarás más información sobre todos ellos.

(Utilizamos la palabra *sólido* simplemente para establecer una distinción entre estos tres componentes y la fracción líquida de la sangre. Las plaquetas, los glóbulos rojos y los glóbulos blancos no son sólidos en absoluto. Si lo fueran, no podrían atravesar las paredes de los capilares.)

Glóbulos rojos

Los glóbulos rojos, también llamados *eritrocitos*, tienen la importante misión de transportar oxígeno por todo el cuerpo. En el interior de los glóbulos rojos hay *hemoglobina*, una molécula portadora de hierro a la que se fija el oxígeno. Además de fijar oxígeno y llevarlo a los capilares, ayuda a transportar dióxido de carbono desde los capilares hasta los pulmones para que sea expulsado. Al transportar oxígeno y hemoglobina, los glóbulos rojos son una parte fundamental de la *homeostasis*, el mecanismo mediante el cual el organismo

intenta alcanzar y mantener el equilibrio en todo momento.

Si una persona no tiene suficientes glóbulos rojos o si sus glóbulos rojos no tienen suficiente hemoglobina, padece *anemia*, una enfermedad que a menudo produce fatiga y debilidad. La anemia puede deberse a carencias nutricionales, trastornos metabólicos, defectos genéticos o una lesión en la médula ósea.



Los glóbulos rojos se forman en la médula ósea roja. Tienen una vida aproximada de 120 días y se dedican a transportar oxígeno y dióxido de carbono. Luego unos glóbulos blancos especiales los destruyen en el hígado y en el bazo. Cuando se han destruido, el hierro que contenían se devuelve a la médula ósea roja y allí se recicla para fabricar más glóbulos rojos. El resto del material que contienen se degrada y se transporta al sistema digestivo, donde gran parte acaba convertido en materia fecal.

Glóbulos blancos

Los glóbulos blancos, también llamados *leucocitos*, intervienen en funciones controladas por el sistema inmunitario, que es el responsable de combatir las infecciones (en el capítulo 17 hablamos con detenimiento sobre esta cuestión). Si una persona tiene pocos glóbulos blancos, su sistema inmunitario no funciona como es debido. Si la cifra es demasiado alta, tiene algún tipo de infección.



Existen cinco grandes tipos de glóbulos blancos:

- ✓ Los **basófilos** liberan *histaminas*, esas molestas moléculas que hacen que te salgan ronchas, sientas fuertes picores, estornudes sin parar o te lloren los ojos cuando estás cerca de alguna cosa a la que eres alérgico. Todas estas reacciones son efectos secundarios de la *inflamación*, un proceso defensivo muy importante que ayuda a tu cuerpo a expulsar agentes nocivos.
- ✓ Los **eosinófilos** ayudan al cuerpo a defenderse de organismos invasores

parásitos.

- ✓ Los **linfocitos** son fundamentales para la *respuesta inmunitaria adaptativa*, que es la defensa del cuerpo contra microbios invasores. Dos de sus funciones importantes son destruir las células infectadas por virus y fabricar unas proteínas defensivas llamadas *anticuerpos*.
- ✓ Los **monocitos** son precursores de macrófagos. Los *macrófagos* digieren bacterias y virus (*macro* significa “grande” y *fago* significa “comer”, de modo que un *macrófago* es, literalmente, un comedor de gran tamaño).
- ✓ Los **neutrófilos** son los glóbulos blancos más numerosos. Comen bacterias perjudiciales y al hacerlo evitan que el organismo sucumba ante cualquier germen patógeno con el que entre en contacto.

Plaquetas

Las plaquetas, también llamadas *trombocitos*, son trozos de células cuya misión es coagular la sangre (el proceso de coagulación se describe con detalle más adelante en este mismo capítulo). Las plaquetas se forman cuando unas células llamadas *megacariocitos* se fragmentan. Al tratarse de simples trozos de célula, las plaquetas son más pequeñas que los glóbulos rojos y blancos. Sobreviven en la sangre durante diez días aproximadamente.

El recuento de plaquetas en la sangre generalmente se determina como parte de un análisis de sangre, o hemograma, completo. Una cifra de plaquetas baja puede indicar que se está desarrollando un tumor o que hay trastornos hemorrágicos crónicos. Si hay más de los valores normales, puede que haya una infección crónica o alguna enfermedad de la sangre (hemopatías).

Un torrente de plasma en el torrente sanguíneo

La fracción líquida de la sangre se llama *plasma*. Los eritrocitos, los leucocitos y los trombocitos flotan en el plasma igual que hojas en un río. De hecho, si te paras a pensarlo, el plasma es precisamente lo que convierte en torrente al torrente sanguíneo.

El plasma contiene muchas proteínas importantes sin las cuales morirías. Las dos proteínas principales que hay en el plasma son:

- ✓ **Gammaglobulinas.** También llamadas *inmunoglobulinas*, las *gammaglobulinas* son una clase de proteínas defensivas que forman los diferentes tipos de anticuerpos. La producción de anticuerpos, que ayudan a combatir infecciones, está controlada por el sistema inmunitario (tal y como se explica en el capítulo 17).
- ✓ **Fibrinógeno.** Esta proteína interviene en la coagulación de la sangre.

Cómo se coagula la sangre

Cuando te haces un corte en un dedo, tu cuerpo se embarca en la misión de formar un *coágulo de sangre* (un tapón semisólido hecho de células sanguíneas atrapadas en una malla de proteínas) para que no te mueras desangrado. En primer lugar, el vaso sanguíneo dañado se constriñe para limitar la pérdida de sangre (cuando el corte afecta a un vaso sanguíneo importante, se hace un torniquete para lograr el mismo efecto). Una vez constreñido el vaso lesionado, las plaquetas de la sangre circulante empiezan a adherirse a las fibras de colágeno que hay en las paredes de ese vaso. Finalmente se forma un tapón plaquetario que rellena las pequeñas fisuras del vaso sanguíneo.

Después de formarse el tapón plaquetario, unas enzimas llamadas *factores de coagulación* (tenemos 12 diferentes) inician una cadena de reacciones para crear un coágulo. El proceso es bastante complejo, pero tampoco hace falta que conozcas todos los detalles. Basta con que recuerdes los aspectos más destacados:

- ✓ Después de formarse un tapón plaquetario, da comienzo la fase de coagulación, que consiste en una cascada de activaciones enzimáticas que terminan con la conversión de la protrombina inactiva en trombina activa (para que tenga lugar esta reacción se necesita calcio).
- ✓ La propia trombina actúa como enzima y hace que el fibrinógeno (una de las dos proteínas del plasma) forme hilos largos de fibrina.
- ✓ Los hilos de fibrina se entretajan sobre el tapón plaquetario para formar una estructura similar a una malla.

- ✓ La malla de fibrina captura los glóbulos rojos que le llegan y forma un coágulo. (**Nota:** como en la malla hay glóbulos rojos atrapados, la sangre coagulada es de color rojo. Cuando estos glóbulos rojos exteriores se secan, el coágulo adquiere un tono marronoso y se forma una costra.)

Capítulo 16

Los sistemas digestivo y excretor de los animales: las cañerías del cuerpo

En este capítulo

- ▶ Ver distintas maneras que tienen los animales de consumir alimentos y excretar los residuos
 - ▶ Examinar a fondo el sistema digestivo de los seres humanos
 - ▶ Aprender a comer de forma sana
 - ▶ Descubrir cómo se expulsan del cuerpo humano los productos de desecho
-

Después de que un animal vertebrado haya ingerido un alimento, su aparato digestivo comienza de inmediato a descomponerlo para aprovechar los nutrientes que contiene. Cuando los nutrientes útiles han pasado al torrente sanguíneo, el animal elimina los residuos sólidos a través del intestino grueso y los residuos nitrogenados a través del aparato urinario.

¿Quieres conocer los entresijos de los sistemas digestivo y excretor? Entonces estás en el lugar adecuado. En este capítulo te explicamos con pelos y señales las diversas formas en que los animales consiguen alimentos y se deshacen de sus residuos. Luego te mostramos el funcionamiento del sistema digestivo humano y el destino final de la comida y los residuos en el interior del cuerpo. O sea, te explicamos de dónde salen las heces.

Conseguir alimento y descomponerlo

Todos los animales necesitan alimento como fuente de energía y materiales para crecer (tal y como vimos en el capítulo 5), pero los distintos tipos de animales tienen distintas estrategias para conseguir comida.

- ✓ **Los macrófagos ingieren la comida en grandes trozos.** Utilizan dientes, garras, tentáculos o pinzas para arrancar trozos de carne e ingerirlos. Las águilas, las personas, las ranas y las serpientes son ejemplos de macrófagos.
- ✓ **Los filtradores filtran líquidos para capturar organismos y partículas en suspensión.** Poseen estructuras como branquias o barbas que atrapan las partículas del agua. Las almejas, por ejemplo, aspiran agua y la hacen pasar por sus branquias recubiertas de mucosidad para atrapar los microorganismos y la materia orgánica en suspensión. Las esponjas, los tiburones ballena y las ballenas grises también son ejemplos de animales filtradores.
- ✓ **Los fluidófagos succionan líquidos ricos en nutrientes de otros organismos.** Generalmente son parásitos que viven en el interior de un huésped y utilizan sus fluidos como fuente de alimento. Los áfidos y los mosquitos, por ejemplo, perforan otros organismos y les extraen fluidos. Los áfidos extraen savia elaborada de las plantas y los mosquitos extraen sangre de animales. Las garrapatas, las sanguijuelas y las lampreas son otros fluidófagos que quizá conozcas.
- ✓ **Los sedimentívoros viven dentro del sedimento y se alimentan de él.** Estos animales, por ejemplo lombrices y gusanos, aprovechan los nutrientes que hay en los sedimentos. A la vez que excavan sus túneles, las lombrices ingieren partículas del suelo y digieren los pequeños organismos y la materia orgánica que contiene, para luego expulsar la materia no digerida por el orificio posterior de su cuerpo. De forma similar, cuando las moscas ponen huevos en un cadáver, los gusanos que salen de esos huevos se alimentan del organismo en descomposición mientras perforan un túnel hasta el exterior.



Desde el instante en que la comida entra en el cuerpo del animal hasta que se expulsan los desechos, ocurren cuatro procesos:

- ✓ La **ingestión** tiene lugar cuando el animal introduce la comida en su tubo digestivo.
- ✓ La **digestión** consiste en descomponer la comida. Existen dos tipos de digestión:
 - La **digestión mecánica** rompe físicamente los alimentos en trozos cada vez más pequeños. Comienza cuando el animal consume el alimento y continúa hasta que llega al estómago.
 - La **digestión química** utiliza enzimas y ácidos para descomponer la comida masticada o triturada en trozos todavía más pequeños. También comienza en cuanto se consume el alimento y las enzimas de la saliva se ponen a trabajar. La digestión química tiene lugar en el estómago y en el intestino delgado, donde la comida se ve expuesta a ácidos enzimáticos y enzimas, respectivamente.
- ✓ La **absorción** es el paso de las moléculas de los alimentos del sistema digestivo al interior de las células del animal.
- ✓ La **eliminación** consiste en expulsar el material que no puede ser digerido fuera del conducto digestivo del animal.

Los entresijos de los sistemas digestivos

El funcionamiento básico del sistema digestivo de un animal depende en gran medida de si ese animal puede pasarse varias horas sin comer o si necesita ingerir alimentos continuamente para mantenerse con vida. En los siguientes apartados describimos los dos tipos de sistemas digestivos y te ayudamos a distinguir entre los animales que necesitan comer continuamente y los que no.

Tubos digestivos incompletos y completos

De los animales que pueden verse sin microscopio, los que tienen el sistema digestivo más primitivo son los animales con *tubos digestivos incompletos*, es decir, los que tienen un único orificio que sirve a la vez para ingerir y para expulsar. Las medusas y algunos gusanos son un ejemplo clásico de animal con tubo digestivo incompleto.

Otros animales más complejos tienen un tubo digestivo con un orificio en cada extremo, la boca y el ano, y en cuyo interior se digieren los alimentos y se absorben los nutrientes. Este sistema se llama *tubo digestivo completo*. Posiblemente conozcas bien a uno de los animales que tienen este aparato digestivo: tú mismo.



La ventaja de un tubo digestivo completo es que permite que se realice la digestión completa antes de la excreción. Los organismos que tienen tubos digestivos incompletos expulsan alimentos sin digerir junto con sus desechos. Un organismo que tenga un tubo digestivo completo no necesita ingerir alimentos continuamente para sustituir los que ha excretado antes de haber podido absorber sus nutrientes.

Comedores continuos y discontinuos

Los animales que necesitan ingerir alimento constantemente porque expulsan los alimentos poco después de ingerirlos se llaman *comedores continuos*. La mayoría de estos animales están anclados de manera permanente a algo (como ocurre con las almejas o los mejillones) o se mueven increíblemente despacio. Los *comedores discontinuos*, en cambio, ingieren más cantidad de comida de una vez y la almacenan para digerirla más tarde. Estos animales generalmente son más activos y algo nómadas.



La capacidad de “comer y salir corriendo” resulta muy útil para un

carnívoro depredador. Si un león fuera un comedor continuo y tuviera que cazar y comer constantemente, se agotaría y además pasaría mucho más tiempo al descubierto en la sabana, con lo que aumentarían las probabilidades de convertirse en presa de otro depredador.

Aunque te pases el día picando, en realidad tú eres un comedor discontinuo. Eres capaz de ingerir alimentos rápidamente, pero los digieres despacio para no tener que comer otra vez hasta varias horas más tarde.



Los comedores discontinuos, entre los que te incluyes, deben tener un lugar del cuerpo donde almacenar la comida mientras se digiere lentamente. En los seres humanos, ese lugar es el estómago.

Un viaje por el sistema digestivo humano

Ya sabes que la boca es por donde te metes la comida, pero ¿te has planteado alguna vez si también forma parte del aparato digestivo (mira la figura 16-1)? Bueno, pues así es. La *masticación* es el primer paso para la digestión de los alimentos en los seres humanos. La comida masticada baja por el esófago, llega al estómago y luego pasa al intestino delgado. Los materiales que no pueden ser digeridos ni absorbidos recorren el intestino delgado y se expulsan del cuerpo a través del recto y el ano. En los apartados siguientes te contamos la función que desempeña cada una de estas partes del aparato digestivo.

El lugar más concurrido: la boca

La boca no solo sirve para gritarle al televisor durante un partido de fútbol o para hablar con ese chico o chica tan guapa que se sienta a tu lado en clase de biología. También es donde comienza todo el proceso de la digestión. Y no creas que los dientes son los únicos participantes en este proceso porque son los encargados de romper la comida en trozos cada vez más pequeños. La boca entera se lleva un trozo del pastel, por así decirlo. Además de lo que

hacen los dientes.

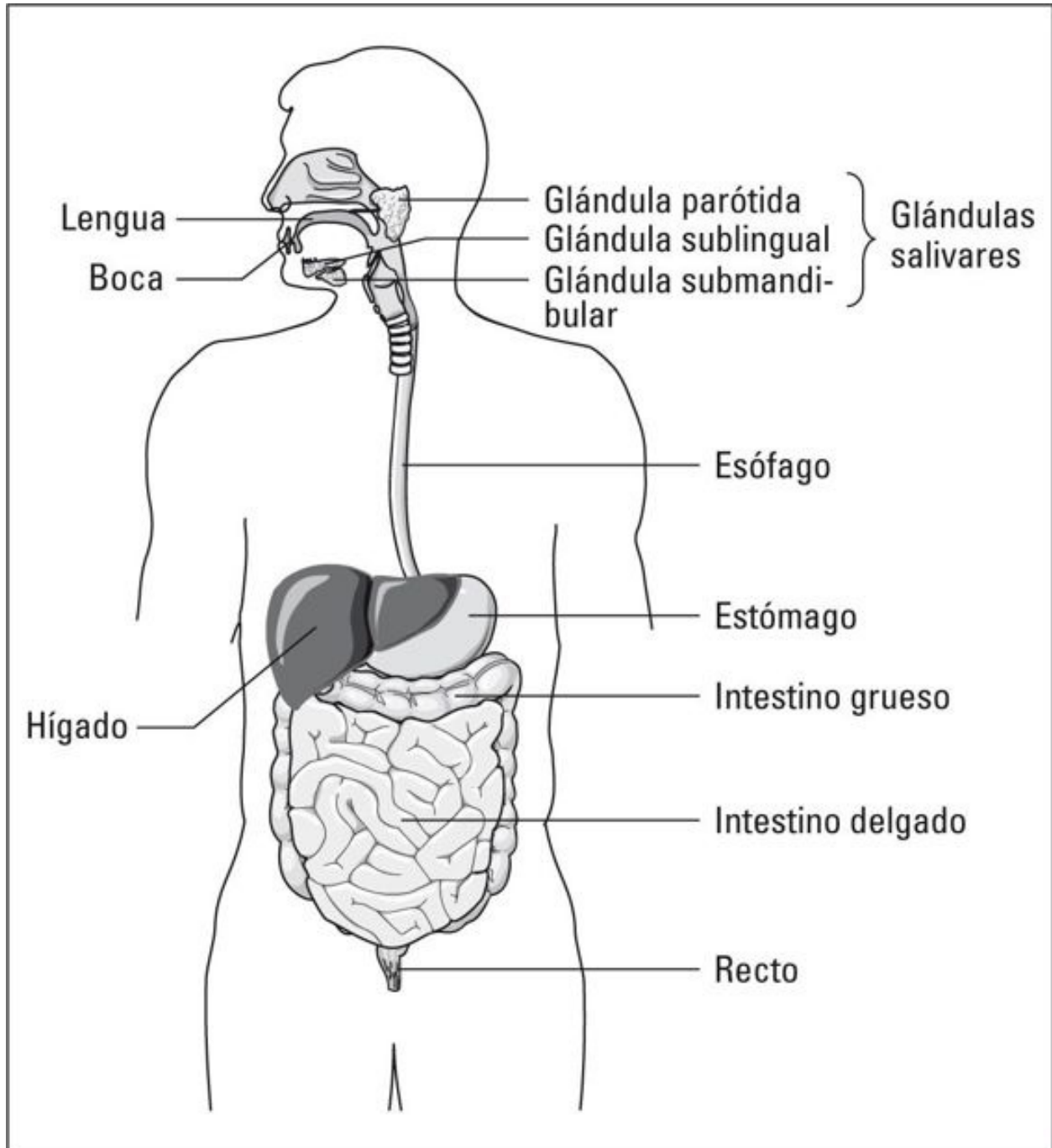


Imagen tomada de LifeART®, Super Anatomy 1, © 2002, Lippincott Williams & Wilkins

Figura 16-1:

Los órganos del aparato digestivo.

- ✓ Las papilas gustativas detectan los nutrientes de los alimentos que estás

comiendo (por ejemplo hidratos de carbono, proteínas y grasas) para que las células de tu aparato digestivo puedan liberar las enzimas correctas que digieran químicamente esos alimentos.

- ✓ La saliva empieza a digerir la comida gracias a la *amilasa salival*, una enzima que se encuentra en la saliva y que rompe las uniones entre las moléculas de glucosa de una cadena larga de almidón.



¿Se te hace la boca agua justo antes de comerte un plato muy apetecible? Eso es porque los ojos o la nariz detectan algo delicioso y comunican al cerebro que estás a punto de abrir la boca y comer un poco. Además, es la manera que tiene la boca de preparar la digestión produciendo saliva, que contiene amilasa salival.

Cuando los dientes ya han masticado la comida, las papilas gustativas han informado al cerebro sobre lo que estás comiendo y las enzimas de la saliva han empezado a descomponer los almidones, ya estás listo para tragar. Para ello, la lengua empuja la comida masticada al fondo de la garganta a fin de que baje por el esófago y llegue al estómago (el *esófago* es el tubo que conecta la boca con el estómago).



El conjunto de movimientos de una estructura muscular hueca para impulsar la comida por su interior se llama *peristalsis*. Es lo que ocurre a lo largo de todo el aparato digestivo de manera que la comida baja por el esófago, entra en el estómago y avanza por los intestinos.

La comida deglutida que entra en el estómago se llama *bolo alimenticio*. Llegados a este punto, la amilasa deja de descomponer las moléculas de almidón y los jugos gástricos del estómago, que contienen enzimas y ácido clorhídrico (HCl), continúan con la digestión química.



Cuando te pegas un hartón de comer produces más ácido

clorhídrico; entonces el contenido del estómago excesivamente lleno puede subir por el esófago. La desagradable consecuencia de este reflujo es lo que llamamos ardor de estómago.

El funcionamiento interno del estómago

Cuando la comida llega al estómago, la enzima pepsina comienza a descomponer las proteínas de los alimentos en cadenas de aminoácidos más cortas (en el capítulo 4 encontrarás más información sobre las enzimas). A continuación, esa masa gomosa atraviesa el *píloro*, la válvula que separa el estómago del intestino delgado. El músculo del esfínter pilórico abre la válvula de vez en cuando para que una pequeña parte del contenido estomacal penetre en el intestino delgado.



A lo mejor te estás preguntando por qué la pepsina no destruye las proteínas que forman los tejidos del tubo digestivo. La razón es que la pepsina se segrega en su forma inactiva, llamada *pepsinógeno*. Como el pepsinógeno es inactivo, no daña las células que lo fabrican. Cuando está en la cavidad del estómago, el pepsinógeno pierde unas docenas de aminoácidos y se convierte en su forma activa, la pepsina. La pepsina no daña las paredes estomacales porque únicamente actúa sobre las proteínas, y el estómago está recubierto de una especie de moco (elaborado a partir de grasas) que protege los tejidos que contienen proteínas. A no ser que tengas una úlcera estomacal (más información al respecto en el siguiente recuadro).

El largo y tortuoso camino del intestino delgado

Cuando las moléculas de los alimentos llegan al intestino delgado se descomponen en unidades todavía más pequeñas (para que las células puedan absorberlas) con un poco de ayuda del hígado y del páncreas.

La verdadera causa de las úlceras de estómago

Cuando las enzimas digestivas y los ácidos estomacales erosionan las paredes del estómago se forma una lesión llamada *úlcera estomacal* o *úlcera gástrica*. Durante años, la comunidad médica pensaba que las úlceras gástricas estaban causadas por estrés, preocupaciones, frustración y otras emociones negativas. Esa idea cambió en 1982 cuando dos médicos australianos, Barry Marshall y Robin Warren, detectaron una bacteria llamada *Helicobacter pylori* en los estómagos de personas aquejadas de úlcera. Propusieron la hipótesis de que *H. pylori* era la causante de las úlceras, pero nadie los creyó. Para demostrar que tenía razón, el doctor Marshall, que no tenía úlceras, hizo lo impensable: ¡se bebió un cultivo vivo de *H. pylori*! Después de beberse el cultivo, el estómago del doctor Marshall se ulceró, con lo que demostró que la infección de esa bacteria sí era la causante de las úlceras gástricas.

Entonces, ¿cómo se forma una úlcera gástrica? Veamos: *H. pylori* inflama el estómago y elimina el moco protector del órgano, de manera que las enzimas y los ácidos segregados durante la digestión degradan las proteínas de los tejidos de las paredes estomacales. Las úlceras gástricas pueden ser dolorosas y, si sangran o perforan la pared estomacal, pueden requerir una intervención médica de urgencia. Por fortuna, la terapia antibiótica suele dar buen resultado al eliminar la bacteria *H. pylori* del estómago.

El hígado segrega *bilis* (un líquido amarillento o verdoso), que pasa al interior del intestino delgado. La bilis emulsiona las grasas (forma pequeñas gotas que quedan en suspensión) y así ayuda a que se mezclen con el contenido acuoso del intestino para que tú las digieras más fácilmente. El páncreas, por su parte, aporta a la mezcla el jugo pancreático, que contiene las siguientes enzimas que ayudan a digerir químicamente las grasas y los hidratos de carbono:

- ✓ La **lipasa** descompone las moléculas de grasa en ácidos grasos y glicerol.
- ✓ La **amilasa pancreática** descompone los hidratos de carbono largos en *disacáridos*, que son cadenas cortas de dos azúcares. A continuación los disacáridos se descomponen en monosacáridos, que pueden ser absorbidos por las células de las paredes del intestino delgado.
- ✓ La **tripsina** y la **quimotripsina** facilitan la rotura de enlaces peptídicos. Después de romper los péptidos en cadenas cortas, las *aminopeptidasas* rematan la faena descomponiéndolos en aminoácidos individuales que el cuerpo es capaz de absorber.



Igual que la pepsina en el estómago, la tripsina y la quimotripsina se segregan originalmente en sus formas inactivas, *tripsinógeno* y *quimotripsinógeno*. Como las enzimas no se activan hasta que llegan al intestino delgado, el aparato digestivo está a salvo de su acción.



El intestino delgado es mucho más largo que el grueso (tres metros, frente a uno y medio). Lo llamamos *delgado* porque su diámetro es menor que el del grueso, que, sin embargo, es más corto.

Después de varias horas dentro del aparato digestivo, los hidratos de carbono, las grasas y las proteínas de los alimentos han quedado reducidos a sus componentes más pequeños: monosacáridos (como la glucosa), ácidos grasos y glicerol y aminoácidos (en el capítulo 3 encontrarás más información sobre estas moléculas). Ahora ya pueden salir del sistema digestivo para que sean aprovechados por todas las células del cuerpo (como explicamos en el siguiente apartado).

Absorber lo que el cuerpo necesita

Durante el proceso de la digestión, las células que forman las paredes del intestino delgado absorben los nutrientes que contiene el bolo alimenticio. El resto de los materiales, los que no pueden digerirse o aprovecharse, pasan al intestino grueso. En los siguientes apartados te mostramos cómo viajan los nutrientes por el organismo y cómo el hígado trabaja sin descanso para que siempre tengas la *glucemia* (la concentración de glucosa en la sangre) en los valores adecuados.

Cómo viajan los nutrientes por el cuerpo

Si el propósito de la digestión es obtener los nutrientes que las células necesitan para funcionar, ¿cómo salen esos nutrientes del aparato digestivo y llegan al resto del cuerpo?

En primer lugar, pasan directamente a las células del intestino delgado por medio del transporte activo. Dicho de otro modo: la energía obtenida de las moléculas de adenosintrifosfato (ATP) se gasta para trasladar azúcares (procedentes de los hidratos de carbono consumidos) y aminoácidos (procedentes de las proteínas consumidas) a las células intestinales (en el capítulo 4 hablamos sobre el transporte activo). Una vez allí, los nutrientes pueden participar en el intercambio capilar, un sistema que permite a las células intercambiar nutrientes y residuos.

El intercambio capilar se fundamenta en dos cosas: los capilares, unos vasos sanguíneos minúsculos de paredes extremadamente delgadas, y el líquido intersticial, el líquido que rellena todos los espacios entre células, protegiéndolas e hidratándolas.



¿Sabías que el 60 por ciento de la masa corporal de una persona es agua? De ese porcentaje, el 20 por ciento es *líquido extracelular*, es decir, que está fuera de las células. El líquido extracelular se compone principalmente de líquido intersticial (16 por ciento) y plasma (4 por ciento; más información en el capítulo 15). El otro 40 por ciento de líquido corporal es *líquido intracelular*, el que hay en el interior de las células del cuerpo (recibe el nombre de citoplasma).

Los nutrientes obtenidos de los alimentos digeridos se distribuyen a través de las paredes del intestino delgado, a través de las paredes de los capilares y a través del líquido intersticial hasta llegar al interior de las células. Al mismo tiempo, los desechos resultantes de los procesos metabólicos de las células se difunden al exterior, atraviesan el líquido intersticial y penetran en los capilares, que los llevan hasta los riñones para luego ser excretados (más adelante en este mismo capítulo explicamos cómo los riñones eliminan los residuos).



Aunque los azúcares y los aminoácidos que hay en el interior de los capilares viajan por el torrente sanguíneo hasta el hígado, los productos de la digestión de las grasas tienen otro destino.

Se recubren de proteínas y toman un nuevo nombre: *quilomicrones*. En lugar de ser transportados por el torrente sanguíneo, los quilomicrones viajan por el sistema linfático, cuya misión es llevar linfa a las venas próximas al corazón.

La regulación de la glucosa



La parada más importante que hacen los azúcares digeridos en su viaje por el torrente sanguíneo es el hígado. Este es capaz de detectar y corregir anomalías de la concentración de varias sustancias de la sangre, por ejemplo la glucosa.

- ✓ Si la concentración de glucosa en la sangre es demasiado alta (un trastorno llamado *hiperglucemia*), el hígado elimina parte de la glucosa sanguínea y la convierte en un polisacárido almacenable llamado *glucógeno*. Si después de esto continúa habiendo demasiada glucosa, el hígado altera su proceso metabólico para almacenar ese exceso en forma de grasa. Las moléculas de grasa son transportadas por el torrente sanguíneo y se depositan en el tejido adiposo (la grasa) del cuerpo.
- ✓ Si la concentración de glucosa en la sangre es demasiado baja (un trastorno llamado *hipoglucemia*), el hígado vuelve a convertir en glucosa parte del glucógeno almacenado y pone esa glucosa en la sangre. Si se gastan todas las reservas de glucógeno, el hígado empieza a degradar las grasas almacenadas para obtener la glucosa que necesitan las células.

Tener la cantidad adecuada de glucosa en el torrente sanguíneo es fundamental, ya que la glucosa es la principal fuente de combustible del

cerebro. De hecho, la glucosa es tan importante que el organismo es literalmente capaz de digerirse a sí mismo para suministrar glucosa al cerebro. En casos extremos, por ejemplo tras una inanición prolongada, cuando la degradación de glucógeno y grasa no basta para restablecer el nivel normal de glucemia, el organismo empieza a degradar proteínas para conseguir las moléculas de energía que tan desesperadamente necesita. Las proteínas de los músculos se degradan en aminoácidos, que pueden convertirse en glucosa. Esto no suena del todo mal, hasta que te percatas de que el corazón es un músculo. Cuando el organismo comienza a degradar las proteínas del corazón, la probabilidad de morir se dispara.

¿Qué hay para cenar? La importancia de comer sano

Es una lástima que las personas tengamos unas papilas gustativas tan sensibles. Si el sentido del gusto no estuviera tan evolucionado, a lo mejor serías como otros animales y te limitarías a comer lo que formara parte de tu dieta natural, y eso solo cuando de verdad estuvieras hambriento. Pero el caso es que la comida está muy rica y las personas a menudo caemos en la tentación de meter en el organismo combustible barato. ¿Le harías eso a tu coche habitualmente? ¿O más bien preferirías ponerle gasolina de primera calidad para evitar que el motor renqueara?

Si no quieres que tu organismo empiece a renquear, te recomendamos encarecidamente que sigas las recomendaciones de organismos oficiales y que planifiques la dieta teniendo en cuenta las proporciones indicadas en la pirámide de los alimentos.

De momento, te animamos a leer los apartados siguientes. En ellos encontrarás la información básica sobre los nutrientes esenciales que el cuerpo humano necesita: hidratos de carbono, proteínas, grasas, minerales y vitaminas.

Hidratos de carbono: los causantes del ansia de comer

Los *hidratos de carbono* son compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno

que proporcionan energía rápida al organismo (en el capítulo 3 describimos con mayor detalle la estructura química de los hidratos de carbono). Las moléculas de hidratos de carbono, por ejemplo los azúcares, se degradan rápidamente.



La *glucosa* es una molécula muy importante para el organismo. Puedes obtenerla directamente de alimentos ricos en hidratos de carbono (por ejemplo pan, pasta, dulces y fruta). No obstante, el cuerpo también produce glucosa mediante la degradación de proteínas y grasas. En lo que se refiere a la dieta, no todos los hidratos de carbono son iguales.

- ✓ Los alimentos elaborados con *harinas integrales* tienen más fibra y vitaminas, por lo que favorecen algo más el tránsito intestinal.



Muchos productos se anuncian como integrales, pero no te dicen cuál es la proporción real de harina integral que contienen. En caso de duda, fíjate en la cantidad de fibra que tiene el producto; ese es el dato que te importa para cuidar el aparato digestivo.

- ✓ Los alimentos elaborados con *harinas refinadas* tienen menos fibra y vitaminas. Se procesan más de prisa y provocan un rápido incremento de la glucemia, por lo que hacen que la sensación de saciedad desaparezca antes.

Proteínas: la materia prima de los músculos

Todos y cada uno de los músculos, las membranas celulares y las enzimas del cuerpo están hechos de proteínas. Por lo tanto, para crear más fibras musculares, nuevas células y otros elementos que contribuyen al funcionamiento del organismo es imprescindible tomar proteínas (en el capítulo 3 describimos la estructura química de las proteínas).



Las proteínas están hechas de aminoácidos. Existe un grupo de nueve aminoácidos concretos, llamados *aminoácidos esenciales*, que el cuerpo necesita para sintetizar proteínas (encontrarás la lista en la tabla 16-1).

Los seres humanos podemos sintetizar otros 11 aminoácidos a partir de diversos compuestos que no proceden necesariamente de aminoácidos. Como estos aminoácidos se fabrican en el cuerpo, se consideran *aminoácidos no esenciales*; es decir, no es esencial comer alimentos que los contengan porque puedes obtenerlos de otra forma. También encontrarás los aminoácidos no esenciales en la tabla 16-1.

Tabla 16-1: Los aminoácidos que tienen los humanos

<i>Aminoácidos esenciales</i>	<i>Aminoácidos no esenciales</i>
Histidina	Alanina
Isoleucina	Arginina
Leucina	Asparragina
Lisina	Acido aspártico
Metionina	Cisteína
Fenilalanina	Ácido glutámico
Treonina	Glutamina
Triptófano	Glicina
Valina	Prolina
	Serina
	Tirosina

Al pensar en fuentes de proteínas, probablemente te venga a la mente la carne. Hay una buena razón para ello. Tanto tus músculos como los de otros animales tienen un alto contenido de proteínas. Cuando comes carne (ya sea ternera, pollo, pavo, cerdo o pescado), estás consumiendo tejido muscular rico en proteínas.

Las judías, los frutos secos y las legumbres (sobre todo la soja pero también las lentejas, las judías y los garbanzos) también son fuentes de proteína, pero en este caso es proteína vegetal, no proteína animal. Las proteínas vegetales se consideran incompletas porque no contienen suficiente cantidad de algunos aminoácidos necesarios. Como los animales obtienen los aminoácidos esenciales y además fabrican sus propios aminoácidos no esenciales, la proteína animal se considera completa: contiene todos los aminoácidos que necesitamos las personas.



Los vegetarianos deben combinar ciertos alimentos para asegurarse de tomar todos los aminoácidos necesarios.

Grasas: las necesitas, pero sin pasarte

El cuerpo necesita grasas para elaborar tejidos y hormonas y para aislar los nervios (igual que los cables eléctricos se aíslan con un revestimiento plástico). Además, la grasa es una fuente de energía almacenada. Da forma al cuerpo, reduce la pérdida de calor aislando órganos y músculos y protege los órganos (como si fuera un amortiguador).



La grasa suministra energía a largo plazo. Por esa razón no empiezas a quemar grasa hasta que llevas al menos 20 minutos haciendo ejercicio cardiovascular. Primero el cuerpo gasta rápidamente la glucosa disponible en las células. Luego empieza a degradar moléculas de grasa y a convertirlas en glucosa para conseguir energía.

Las lipoproteínas y el riesgo de cardiopatía

Las *lipoproteínas* son compuestos formados por un lípido (grasa) y una proteína. Su misión es transportar colesterol a las células del cuerpo a través de la sangre.

Las personas podemos producir cuatro tipos de lipoproteínas:

- ✓ Lipoproteínas de alta densidad (HDL)
- ✓ Lipoproteínas de baja densidad (LDL)
- ✓ Lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL)
- ✓ Quilomicrones

Quizás hayas oído que las moléculas HDL son colesterol bueno y las moléculas LDL son colesterol malo. Sin embargo, HDL y LDL son lipoproteínas, no moléculas de colesterol. Simplemente se fijan al colesterol y lo transportan. A continuación te explicamos lo bueno y lo malo de las lipoproteínas.

Los quilomicrones son lipoproteínas muy pequeñas que pertenecen a la categoría VLDL. Las lipoproteínas VLDL tienen muy poca proteína y mucha grasa. Cuando viajan por el torrente sanguíneo pierden algunos lípidos, recogen colesterol y se convierten en LDL. Las lipoproteínas LDL entregan el colesterol a las células del cuerpo que lo necesitan, pero por el camino las VLDL y las LDL pueden atravesar las paredes de los vasos sanguíneos. Cuando eso ocurre, el colesterol puede adherirse a la pared del vaso sanguíneo y causar la formación de una placa de ateroma. Si se deposita suficiente cantidad de colesterol, puede incluso que una arteria se obstruya, lo que impide la circulación de la sangre y, como consecuencia, es posible que se produzca un infarto de miocardio o un ictus. Por lo tanto, aunque las lipoproteínas LDL ayudan al cuerpo transportando colesterol a donde es necesario, si tienes demasiada cantidad de ellas es posible que el colesterol empiece a obstruir los vasos sanguíneos, lo que incrementa el riesgo de padecer cardiopatías, infarto de miocardio e ictus.

Las lipoproteínas HDL, en cambio, contienen más proteínas que lípidos y eso las hace más densas (de ahí viene su nombre). Al ser tan densas, las lipoproteínas HDL no pueden atravesar las paredes de los vasos sanguíneos. En lugar de ello, expulsan el colesterol del cuerpo a través del hígado. No pueden depositar colesterol en los vasos sanguíneos porque no pueden penetrar en ellos, de manera que no aumentan el riesgo de cardiopatía, infarto de miocardio ni ictus. **Recuerda:** el nivel de HDL debe ser siempre más alto que el de LDL o VLDL.

Aunque las grasas son nutrientes importantes para el organismo, las hay buenas y malas.

- ✓ Las **grasas insaturadas** son buenas para la salud. Los aceites vegetales, por ejemplo de oliva o de linaza, son fuentes excelentes de grasas insaturadas, igual que los aceites de pescado.
- ✓ Las **grasas saturadas** son malas para la salud. Las grasas animales (como la que hay en la carne) y la mantequilla son grasas saturadas.



Contrariamente a lo que todo el mundo cree, la grasa por sí misma

no engorda. Lo que causa la acumulación de tejido adiposo es ingerir más calorías de las que uno gasta, con independencia de si esas calorías proceden de grasas, de proteínas o de hidratos de carbono.

Minerales y vitaminas: combustible para las enzimas

Además de hidratos de carbono, proteínas y grasas, el cuerpo necesita ciertos minerales y vitaminas que ayuden al funcionamiento de las enzimas (en el capítulo 4 encontrarás más información sobre las enzimas).

Los *minerales* son moléculas inorgánicas que forman parte de la Tierra (hierro, zinc, calcio, etc.). El cuerpo no necesita una gran cantidad de minerales para funcionar bien, pero algunos son imprescindibles.

Los minerales sin los que no puedes pasar se llaman *minerales esenciales* y los que necesitas en cantidades muy pequeñas se llaman *oligoelementos*. La tabla 16-2 contiene una lista de todos los minerales esenciales y de los oligoelementos imprescindibles.

Tabla 16-2: Minerales imprescindibles para las personas	
<i>Minerales esenciales</i>	<i>Oligoelementos</i>
Calcio	Cromo
Cloruro	Cobre
Magnesio	Fluor
Fósforo	Yodo
Potasio	Hierro
Sodio	Manganeso
Azufre	Molibdeno
	Selenio
	Zinc

Las *vitaminas* son moléculas orgánicas que están presentes de forma natural

en todos los seres vivos. Se componen de los mismos átomos de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno que los hidratos de carbono, las proteínas y las grasas. Existen dos tipos de vitaminas:

- ✓ **Liposolubles.** Estas vitaminas (las vitaminas A, D, E y K) tienen que estar disueltas en moléculas de grasa (o *fosfolípidos*) para que las células puedan utilizarlas. Los fosfolípidos transportan las vitaminas por el torrente sanguíneo hasta las células.
- ✓ **Hidrosolubles.** Estas vitaminas (la vitamina C y todas las del grupo B) a menudo actúan con enzimas para acelerar reacciones.

El sistema excretor humano

Cuando el cuerpo humano descompone los alimentos, utiliza la mayor cantidad posible de nutrientes para alimentar procesos celulares. Lo que queda después de haber extraído los nutrientes son residuos que el organismo elimina a través del *sistema excretor*, compuesto por el intestino grueso y los riñones. En los siguientes apartados explicamos cómo funcionan estos órganos y cómo eliminan los desechos del cuerpo para que no te pongas enfermo.

El intestino grueso y cómo elimina residuos sólidos

Después de que los nutrientes aprovechables de los alimentos hayan pasado al torrente sanguíneo a través del intestino delgado, el material sobrante progresa al intestino grueso (también llamado *colon*). Aquí es donde se genera la materia fecal (las heces), que recorren el intestino grueso hasta llegar al recto, el cual actúa como un tanque de retención. Cuando el recto está lleno, se sienten ganas de defecar (expulsar materia fecal). Este acto, que marca el final del proceso digestivo, se realiza a través del ano.

Para convertir el material sobrante en heces, el intestino grueso absorbe agua y electrolitos de ese material y devuelve el agua al organismo para impedir

que se deshidrate. Si se absorbe demasiada agua, la persona sufre estreñimiento; si se absorbe demasiado poca, la persona sufre diarrea.



El intestino grueso absorbe iones (por ejemplo sodio) del material que pasa por su interior. Los iones sodio son necesarios para muchos procesos celulares, por ejemplo el transporte activo de materiales a través de las membranas celulares (descrito en el capítulo 4). Asimismo, el intestino grueso recoge iones del torrente sanguíneo para excretarlos, ayudando así a regular la cantidad de iones del organismo. Si la cantidad de iones del organismo no está dentro del intervalo normal, las consecuencias pueden ser graves. Por ejemplo, si la concentración de iones sodio y potasio (también llamados *electrolitos*) es anormal hay problemas en la contracción de los músculos y en la transmisión de los impulsos nerviosos, lo cual, a su vez, puede interferir en el ritmo cardíaco y, por lo tanto, se puede producir un infarto de miocardio.

Por qué es tan importante lavarse las manos

Aunque las bacterias que producen vitamina K en los intestinos contribuyen a que estés sano, pueden ser extremadamente perjudiciales si llegan a cualquier otro lugar del cuerpo. Una de las bacterias que vive en el colon se llama *Escherichia coli*. Todas las cepas de *E. coli* pueden causar diarrea y vómitos en caso de ser ingeridas, y una contaminación grave por *E. coli* también puede provocar *septicemia* (bacterias en la sangre, que viajan por todo el cuerpo y causan infecciones), que a su vez puede ocasionar un coma e incluso la muerte.

La manera más fácil de que la *E. coli* llegue a los alimentos es no lavarte las manos. Cuando te limpias después de defecar, es fácil que algunas bacterias excretadas con las heces vayan a parar a las manos. Si no las lavas para eliminar las bacterias que puedan haberse instalado allí y luego coges algún alimento y te lo comes, puede que ingieras las bacterias y te pongas enfermo. ¡Una razón de peso para que nunca te olvides de lavarte las manos después de ir al lavabo!

Los riñones y cómo eliminan desechos nitrogenados

Los *desechos nitrogenados*, que son los materiales sobrantes que contienen

nitrógeno y que provienen de la degradación de las proteínas y de los ácidos nucleicos, se expulsan del cuerpo con la orina. En los seres humanos, los riñones son los órganos encargados de producir orina.

Tenemos dos riñones, uno a cada lado de la columna vertebral, justo debajo de las costillas. Igual que la mayoría de los órganos del cuerpo humano, la función de un riñón está íntimamente ligada a su estructura (representada en la figura 16-2). Como puedes ver, cada riñón tiene tres áreas claramente diferenciadas:

- ✓ La corteza renal, que es la capa exterior.
- ✓ La médula renal, que es la capa intermedia.
- ✓ La pelvis renal, que se convierte en el uréter.



Cada riñón contiene más de un millón de *nefronas*, túbulos microscópicos que producen orina. Cada nefrona desemboca en un túbulo colector que conduce la orina a la pelvis renal. Desde allí, la orina baja por el *uréter*, que es el tubo que conecta el riñón con la *vejiga*.

La orina entra continuamente a la vejiga por su parte superior. La vejiga de una persona adulta puede almacenar hasta medio litro de orina aproximadamente, pero basta con que se llene en una tercera parte para que ya te entren ganas de orinar. Cuando la vejiga alcanza dos tercios de su capacidad, empiezas a sentirte verdaderamente incómodo.

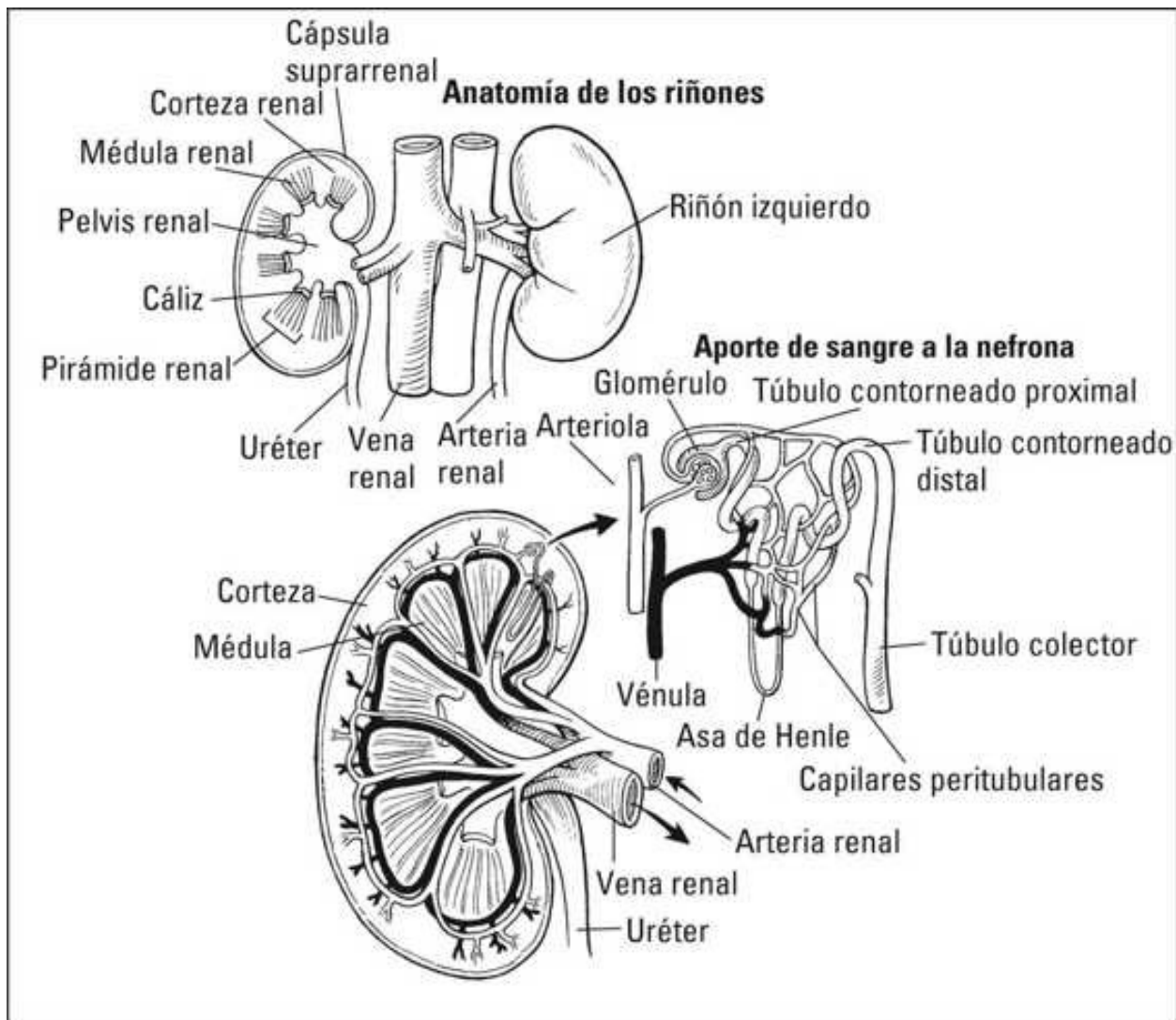


Figura 16-2:
Estructura de los riñones y de las nefronas.

La orina sale del cuerpo a través de la *uretra* (observa la figura 16-3), un conducto situado en la parte inferior de la vejiga que desemboca en el exterior del cuerpo. La uretra se mantiene cerrada por un esfínter. Cuando quieres empezar a orinar, este esfínter se relaja para que la uretra se abra y la orina pueda salir.

Problemas urinarios

La *incontinencia*, la incapacidad para retener la orina en la vejiga, es un problema que avergüenza a muchos hombres y mujeres de edad avanzada. Lo que ocurre, a grandes rasgos, es que la necesidad de

orinar se hace más urgente y frecuente, y a veces se producen pequeños escapes de orina. Según se cree, la incontinencia afecta más a las mujeres que a los hombres debido al estrés que soportan los músculos del esfínter asociado a la vejiga durante el embarazo y el parto. Los hombres, sin embargo, tienen un problema urinario adicional: el agrandamiento de la próstata.

La próstata se encuentra justo debajo de la vejiga, rodeando la uretra. Su función es producir un líquido que se añade al semen cuando este pasa por la uretra. Cuando la próstata se agranda (a partir de los cincuenta años de edad aproximadamente), presiona la uretra y obstaculiza la salida de la orina, lo cual causa dolor al miccionar. Si esta patología se agrava, la orina puede llegar a regresar a los riñones y causar una nefropatía. A medida que las personas envejecen, el número de *nefronas* (los túbulos microscópicos que producen orina) disminuye, y el tamaño de los riñones también, lo cual puede dar lugar a una disminución de la función renal y causar problemas graves a personas de edad avanzada.

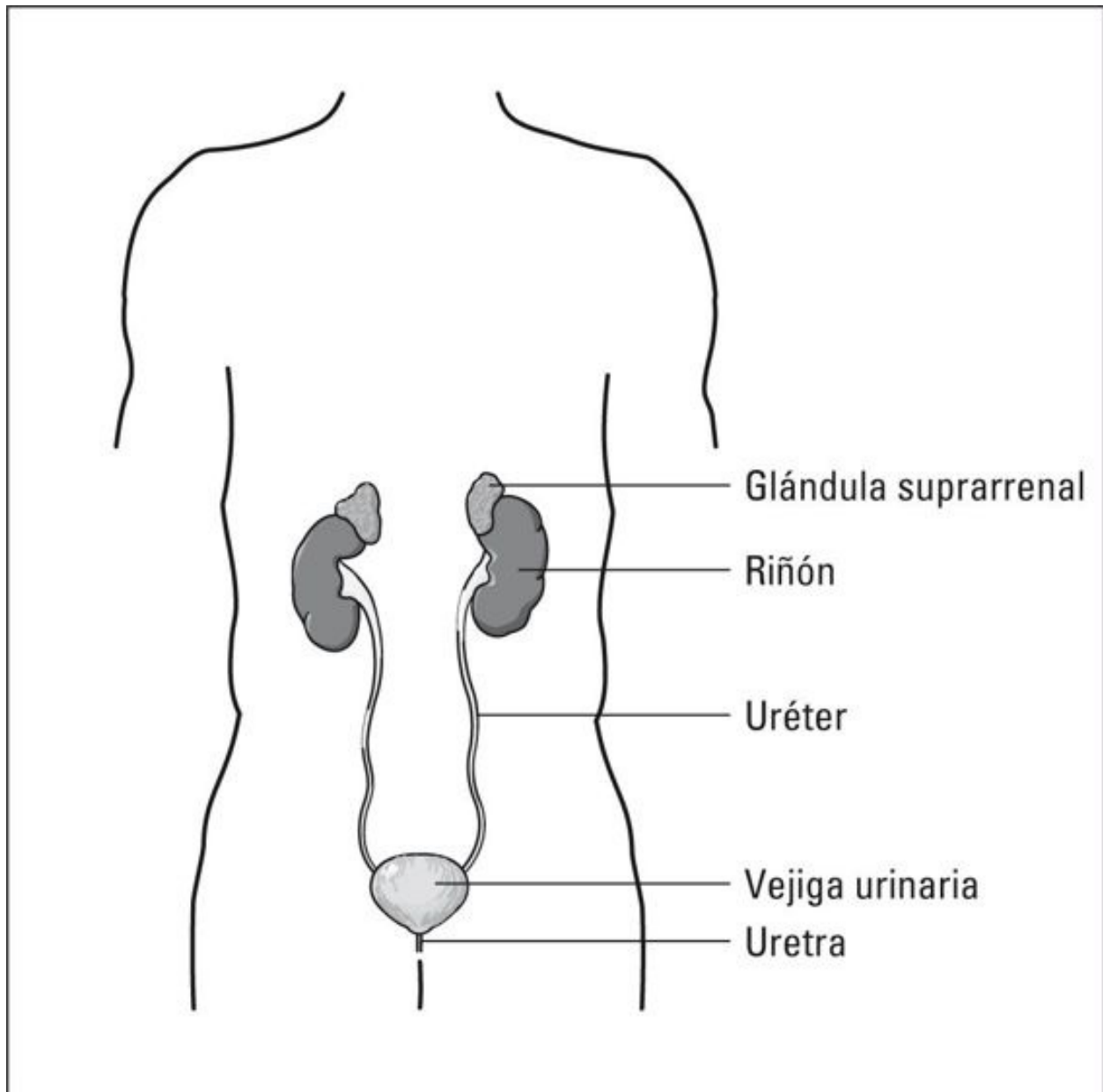


Imagen tomada de LifeART®, Super Anatomy 1, © 2002, Lippincott Williams & Wilkins

Figura 16-3:
El aparato urinario humano.

Capítulo 17

El sistema inmunitario: combatir las agresiones

En este capítulo

- ▶ Distinguir entre microbios buenos y malos
 - ▶ Conocer las particularidades del sistema inmunitario innato y el adquirido
 - ▶ Ayudar al sistema inmunitario cuando lo necesita
 - ▶ Ver cómo la edad afecta a las defensas internas
-

Hay virus y bacterias por todas partes, y algunos pueden hacerte enfermar gravemente (aunque también es verdad que algunas bacterias son muy beneficiosas para la existencia humana). Que estos patógenos potenciales te causen daño o no depende de una compleja interacción entre sus armas y tus defensas. En la inmensa mayoría de las batallas que libras con microbios, eres tú quien sale vencedor gracias a la combinación de la inmunidad innata (al nacer todas las personas tienen desarrollada una parte del sistema inmunitario) y la inmunidad adquirida (la parte del sistema inmunitario que se desarrolla a medida que entras en contacto con microbios).

En este capítulo presentamos las estructuras y las células que te mantienen a salvo de los microbios, mostramos las opciones disponibles para echar una mano a las defensas del cuerpo y explicamos lo que le ocurre al sistema

inmunitario al envejecer.

Microbios: ¿amigos o enemigos?

Los *microbios* (bacterias y virus) pululan por todas partes. Están en el aire, en el agua, en el suelo... y también en tu cuerpo. La cuestión es cómo distinguir los buenos de los malos. En los siguientes apartados te lo aclaramos.

Bacterias beneficiosas: imprescindibles para la salud

Las bacterias que normalmente viven en el cuerpo constituyen la *flora microbiana* normal y desempeñan un papel importante en tu salud, en gran medida porque te protegen de los microbios causantes de enfermedades, llamados *patógenos*.



La flora microbiana normal es beneficiosa porque:

- ✓ Favorece el proceso digestivo y ayuda a la coagulación de la sangre al liberar vitamina K (esta vitamina no puede obtenerse de los alimentos, sino únicamente de las bacterias beneficiosas que hay en el tubo digestivo. Así pues, la vitamina K viene a ser como el alquiler que pagan las bacterias por vivir en tus intestinos).
- ✓ Ocupa espacio y absorbe nutrientes, lo cual hace que los patógenos no puedan invadirte fácilmente.
- ✓ Fabrica bacteriocinas, unas sustancias químicas que inhiben el crecimiento de otras bacterias.

Bacterias perjudiciales: malas para la salud

Algunas bacterias se merecen la mala fama que se han granjeado con el

tiempo. Estas bacterias indeseables son patógenos, los microbios causantes de enfermedades infecciosas.

Para causar enfermedades, las bacterias malas deben ser capaces de hacer tres cosas:

- ✓ **Entrar en el cuerpo y colonizarlo.** Las bacterias malas pueden colarse en el cuerpo cuando respiras, comes o bebes. También pueden entrar por una herida o transmitirse por contacto sexual. Uno de los patógenos más infames de la historia es el *Yersinia pestis*, la bacteria causante de la Peste Negra, una epidemia de peste bubónica que mató a casi dos tercios de la población europea durante el siglo XIV. Esta bacteria normalmente vive y se reproduce en el interior de roedores, pero puede contagiarse a las personas por la picadura de pulgas procedentes de ratas infectadas.
- ✓ **Superar a tus defensas.** Las defensas del organismo son bastante buenas, pero algunas bacterias conocen trucos para vencerlas. Y luego hay otras que se aprovechan cuando las tienes débiles. Por ejemplo, la bacteria *Streptococcus pneumoniae* vive en la garganta de las personas sanas. La mayor parte del tiempo esa bacteria se porta bien, y simplemente se dedica a disfrutar de la vida en las cavidades húmedas y oscuras de la garganta. Pero si el organismo hospedador se debilita por efecto de un resfriado o una gripe, las cosas se ponen feas. Las bacterias desarrollan ciertas ansias de poder y empiezan a reproducirse rápidamente, lo que puede causar una infección de los senos paranasales o de los oídos, e incluso neumonía.
- ✓ **Causar daños en el organismo.** Los patógenos producen toxinas y enzimas que dañan los tejidos. Si la comida no se procesa en la forma debida, por ejemplo, puedes acabar con la barriga llena de toxinas bacterianas. Un buen ejemplo es el botulismo. Esta enfermedad generalmente se debe a la ingestión de una toxina producida por la bacteria *Clostridium botulinum*, que prolifera en alimentos mal enlatados. Lo que te hace enfermar son las toxinas, no la bacteria.

Virus: todos son malos

Los *virus* son los piratas del mundo microbiano. Estas partículas minúsculas contienen información genética y son capaces de secuestrar las células del organismo y obligarlas a producir más virus. Y aunque la estructura de los virus es muy diferente a la de las bacterias, también son patógenos.



Los virus atacan a las células de la manera siguiente (puedes verlo en la figura 17-1):

1. Las proteínas del virus se unen a un receptor de una célula.

Es como cuando introduces la llave en la cerradura al llegar a casa. Si la llave no entra, no puedes abrir la puerta. En la fase 2 de la figura 17-1 puedes ver el virus VIH uniéndose a una proteína llamada CD4 que hay en la superficie de ciertos leucocitos humanos.

2. El virus introduce su ácido nucleico en la célula y toma el control.

El ácido nucleico viral reprograma la célula y la convierte en una fábrica de virus. En lugar de cumplir con la función que tiene asignada, la célula empieza a fabricar ácido nucleico viral y proteínas. La célula incluso utiliza sus propias moléculas y reservas de energía (ATP) para cumplir con esta tarea impuesta. En la fase 3 de la figura 17-1 puedes ver el material genético viral del VIH penetrando en la célula humana, y en la 6, la célula está fabricando más material genético viral.

3. Los componentes virales se juntan para formar virus maduros.

Esta multiplicación viral hace que la célula acabe reventando y libere partículas virales que causan estragos en otras células del organismo hospedador. El número de virus que pasan al ataque llegados a este punto varía entre diez y varias decenas de miles, dependiendo del tipo de virus. Puedes ver que en la fase 8 de la figura 17-1 cómo las partículas virales terminadas salen de la célula humana.

1. **Virus libre.**
2. **Fijación y fusión:** el virus se fija al receptor CD4 de la célula huésped y luego se fusiona con ella.
3. **Penetración:** la cápside del virus entra en la célula y libera su contenido en el citoplasma.
4. **Transcripción inversa:** la enzima transcriptasa inversa convierte las moléculas de ARN viral monocatenario en ADN bicatenario.
5. **Recombinación:** la enzima integrasa combina el ADN viral con el ADN de la célula huésped.
6. **Transcripción:** el ADN viral se transcribe y produce cadenas largas de proteína viral.
7. **Ensamblaje:** las proteínas virales se juntan en grupos.
8. **Gemación:** las proteínas virales empujan la membrana plasmática de la célula huésped y se envuelven en una nueva cubierta lipoproteica. La enzima viral proteasa empieza a cortar las proteínas virales.
9. **Liberación:** el virus inmaduro sale de la célula hospedadora.
10. **Maduración:** la enzima viral proteasa termina de cortar las proteínas virales y estas se combinan para completar la formación del virus.

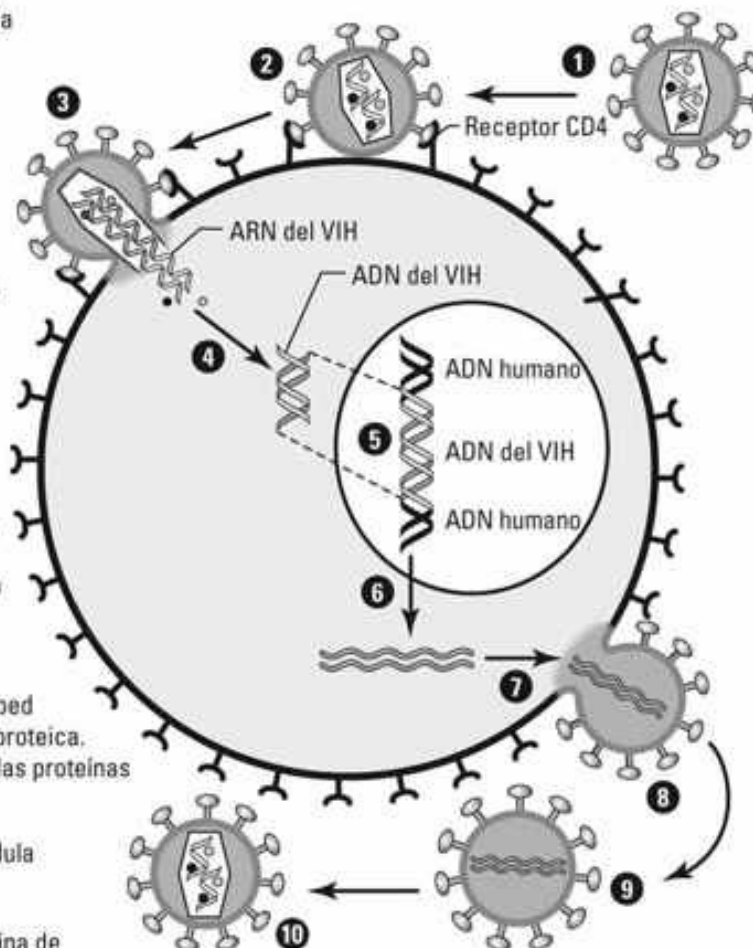


Figura 17-1:

Un virus ataca a una célula.



Como los virus necesitan una célula huésped para multiplicarse, se les llama *parásitos intracelulares estrictos* (parásitos porque usan los recursos del huésped en su propio beneficio y lo destruyen durante el proceso; *intracelulares* porque penetran en las células, y *estrictos* porque no tienen otro remedio que hacerlo así).

El sistema inmunitario innato: protección de serie

Normalmente no te percatas de los microbios que pululan a tu alrededor porque no puedes verlos y porque la inmunidad innata los mantiene alejados. La *inmunidad innata* es la resistencia natural que tienes desde que naces y que se desarrolla en el embrión al mismo tiempo que otros mecanismos fisiológicos. Igual que las paredes de una fortaleza, tus defensas innatas pueden repeler a todos los atacantes (es decir, no tienen como objetivo un patógeno en particular).

Como las defensas funcionan, solo te percatas de que hay patógenos si superan las defensas innatas. Cuando eso ocurre, necesitas que la inmunidad adquirida acuda a rescatarte (en el apartado “El sistema inmunitario adaptativo: el valor de una lección bien aprendida” encontrarás más información sobre esa parte de tus defensas).



Las defensas innatas tienen varias formas de mantener a raya los patógenos potenciales que puedas encontrarte:

- ✓ **Barreras físicas.** La piel y las mucosas son las barreras naturales que bloquean el acceso a los tejidos y órganos. Vendrían a ser como las murallas que rodean el castillo.
- ✓ **Barreras químicas.** El pH del ácido gástrico es una barrera química que impide el crecimiento microbiano. Dicho de otro modo: el ácido del estómago es como el aceite hirviendo que los defensores del castillo echaban sobre los invasores desde lo alto de las murallas.
- ✓ **Células dendríticas.** Estas células patrullan el cuerpo en busca de microbios y alertan al sistema inmunitario de invasiones inminentes. Igual que los centinelas salían a vigilar las inmediaciones del castillo, estas células regresan corriendo y comunican al comandante en jefe del ejército (en este caso el linfocito T cooperador) la presencia de invasores.
- ✓ **Fagocitos.** Son un tipo especial de leucocitos que se encargan de

localizar y destruir los microbios que han logrado penetrar en el organismo. Para ello, envuelven a los microbios invasores y se los tragan. Siguiendo el símil anterior, son los especialistas en el combate cuerpo a cuerpo.

- ✓ **Inflamación.** Es la alarma que congrega los leucocitos en el lugar de la invasión para contener y destruir los microbios, más o menos como la voz de alarma que reúne a los defensores del castillo para luchar contra los atacantes.
- ✓ **Filtros.** La mucosidad que hay en la nariz y en la garganta y los pelos de la nariz actúan como filtros que capturan microbios y les impiden adentrarse más en el cuerpo. De todos modos, ese no es el único sistema de filtración que tiene el organismo. El sistema linfático busca microbios en los fluidos corporales y destruye todos los que detecta. Todos estos filtros son como el foso que rodea el castillo, cuya misión es ralentizar el avance del enemigo.

En los apartados siguientes hablamos con más detalle sobre estos mecanismos de defensa innatos.

La piel y las mucosas: la primera línea de defensa

La piel y las mucosas son la primera línea de defensa del organismo contra las bacterias perjudiciales y los virus. Ambos son *epitelios*, tejidos compuestos por varias capas de células unidas entre sí que impiden la entrada de microbios.



La piel es el órgano más grande del cuerpo, pero su tamaño y su gran compactación no son las únicas características que la convierten en un repelente de microbios especialmente efectivo. La piel también impide la entrada de microbios por las siguientes razones:

- ✓ **Está seca.** Los microbios necesitan agua para crecer, de manera que la

piel no es un terreno propicio para ellos.

- ✓ **Se descama.** Continuamente se desprenden células cutáneas que se llevan consigo microbios.
- ✓ **Es resistente.** Las células cutáneas están reforzadas con queratina, la misma proteína que forma los pelos y las uñas.
- ✓ **Es ácida.** Los ácidos grasos del sebo epitelial (la sustancia oleosa segregada por las glándulas sebáceas cutáneas) hacen que la piel tenga un pH ligeramente ácido, lo que impide el crecimiento de muchos microbios.

Del mismo modo que la piel protege el exterior del cuerpo, las mucosas protegen las superficies húmedas del interior. Los sistemas respiratorio, gastrointestinal, urinario y reproductor cuentan con un revestimiento mucoso. Aunque las mucosas no son ni de lejos tan resistentes como la piel, cuentan con unas defensas propias:

- ✓ **Son pegajosas.** El moco atrapa a los microbios invasores que caen sobre él.
- ✓ **Arrastran al exterior todo lo que pillan.** El lavado mecánico elimina los microbios que pueda haber en las superficies de varias mucosas. Por ejemplo, las lágrimas lavan los ojos, la orina limpia la uretra, y la peristalsis hace posible el avance de materiales por los intestinos.



Para evitar infecciones de las vías respiratorias bajas, el movimiento mucociliar hace que la mucosidad suba por la garganta hasta un punto desde el que pueda ser expulsada mediante la tos (en el capítulo 4 encontrarás más información sobre los cilios).

Defensores moleculares: pequeños pero matones

Los líquidos corporales contienen varias proteínas defensivas que ayudan a prevenir infecciones. Estos defensores minúsculos e invisibles se unen a los

microbios, los degradan y les hacen más difícil establecerse en el organismo. Tales combatientes químicos invisibles están presentes en las lágrimas, la saliva, las mucosidades, la sangre y los líquidos tisulares. He aquí los nombres de algunos de ellos:

- ✓ La **lisozima** es una proteína que degrada una de las sustancias químicas que forman las paredes celulares de las bacterias (de *liso*, ‘romper’, y *zima*, ‘enzima’, de modo que una *lisozima* es una enzima que destruye bacterias). Es uno de los componentes humorales más comunes del organismo, y actúa en cuanto las bacterias hacen acto de presencia.
- ✓ La **transferrina**, presente en la sangre, se combina con el hierro para que los microbios no puedan crecer.
- ✓ Las **proteínas complementarias**, presentes en la sangre y en los líquidos tisulares, se fijan a los microbios y los marcan para que sean destruidos.
- ✓ Los **interferones** son proteínas liberadas por las células infectadas por virus. Viajan a las células que rodean la célula infectada y las advierten del virus. Las células que reciben esta advertencia producen proteínas que las ayudan a protegerse del ataque vírico.

Células dendríticas: buscadoras de microbios

En todos los rincones del cuerpo, unos leucocitos llamados *células dendríticas* se encargan de buscar microbios potencialmente peligrosos por medio de unos receptores celulares diseñados especialmente para detectar las moléculas típicas de las células microbianas. Gracias a estos receptores especiales, llamados *receptores tipo Toll*, a las células dendríticas se les da de maravilla detectar microbios exógenos. Las moléculas de bacterias y virus se fijan a los receptores tipo Toll y activan las células dendríticas.



Las células dendríticas hacen dos cosas que son fundamentales para combatir infecciones:

- ✓ **Liberan unas moléculas comunicadoras llamadas citoquinas.** Las citoquinas se diseminan por todo el organismo y se unen a otras células del *sistema inmunitario* (*cito* significa ‘célula’ y *cinesis* significa ‘movimiento’, de modo que las citoquinas son, literalmente, moléculas que viajan de una célula a otra). Las citoquinas le comunican al sistema inmunitario que se han detectado microbios y ayudan a activar las células necesarias para contraatacar.
- ✓ **Descomponen los microbios en trozos pequeños llamados antígenos y luego los muestran a los linfocitos T colaboradores.** Los *linfocitos T colaboradores* son muy importantes en la lucha contra los patógenos porque reconocen a los antígenos exógenos y envían señales a otras células del sistema inmunitario para que pasen al ataque.

Fagocitos: comedores de invasores

Los *fagocitos* son un grupo de leucocitos que patrullan el cuerpo en busca de microbios.

Cuando los encuentran, los atrapan y se los comen vivos (*fago* significa ‘comer’ y *cito* significa ‘célula’, así que los *fagocitos* son comedores de células). Igual que las células dendríticas (descritas en el apartado anterior), los fagocitos activan los linfocitos T colaboradores mostrándoles antígenos de los microbios destruidos.

Existen dos tipos de fagocitos:

- ✓ **Neutrófilos.** Estos fagocitos se multiplican en las primeras etapas de una infección y son los primeros en llegar cuando comienza la inflamación.
- ✓ **Macrófagos.** Estos fagocitos viven en determinados tejidos (*macro* significa ‘grande’ y *fago* significa ‘comer’, de modo que los *macrófagos* son, literalmente, comedores de gran tamaño).

Inflamación: control de daños

Cuando los microbios patógenos logran invadirte a pesar de todo, el cuerpo

responde rápidamente para intentar contenerlos. Los microbios y tus propias células dañadas precipitan una cascada de procesos fisiológicos que conducen a la *inflamación*, una respuesta localizada que se caracteriza por enrojecimiento, dolor, calor e hinchazón.

La manera de combatir los microbios que tiene la inflamación es destruirlos, confinar la infección en un punto y reparar el tejido dañado. En ese proceso se liberan moléculas, como la histamina, que dilatan los vasos sanguíneos y aumentan su permeabilidad.

- ✓ **La vasodilatación permite que llegue más sangre a la zona afectada.** La sangre que riega la zona infectada lleva consigo elementos que forman coágulos y ayudan a confinar la infección en un lugar. Además, aporta más leucocitos —y entre ellos, fagocitos— que ayudan a combatir la infección. Como resultado de este incremento del riego sanguíneo, la zona infectada se calienta y enrojece.
- ✓ **La mayor permeabilidad vascular altera las paredes de los vasos sanguíneos.** Esto permite que las células y los materiales salgan de la sangre y penetren en los tejidos infectados. Los fagocitos se cuelan por los huecos abiertos en las paredes de los vasos sanguíneos, llegan hasta la infección y empiezan a comerse los microbios. El líquido de los vasos sanguíneos se trasvasa a los tejidos y entonces la zona se inflama.

El sistema linfático: filtrador de líquidos



La sangre suministra continuamente materiales (por ejemplo comida) a los tejidos. Después de que este líquido penetre en los tejidos, hay que limpiarlo antes de devolverlo a la sangre. El *sistema linfático* (representado en la figura 17-2) se encarga de localizar y eliminar los materiales extraños que pueda haber en ese líquido, por ejemplo microbios. El sistema linfático tiene dos componentes principales:

- ✓ **Vasos.** Los vasos del sistema linfático forman un sistema circulatorio similar al de los vasos sanguíneos, pero separado de él. Mediante esos vasos se transporta la *linfa*, un líquido que circula a través de la red de *ganglios linfáticos* y luego vuelve al sistema circulatorio. El líquido de los tejidos llena los vasos linfáticos y luego fluye en dirección al corazón. Cuando la linfa atraviesa los ganglios linfáticos, las proteínas defensivas y los leucocitos eliminan los materiales extraños que pueda contener, entre ellos los microbios. A continuación, el líquido linfático vuelve a entrar en el torrente sanguíneo cerca del corazón.

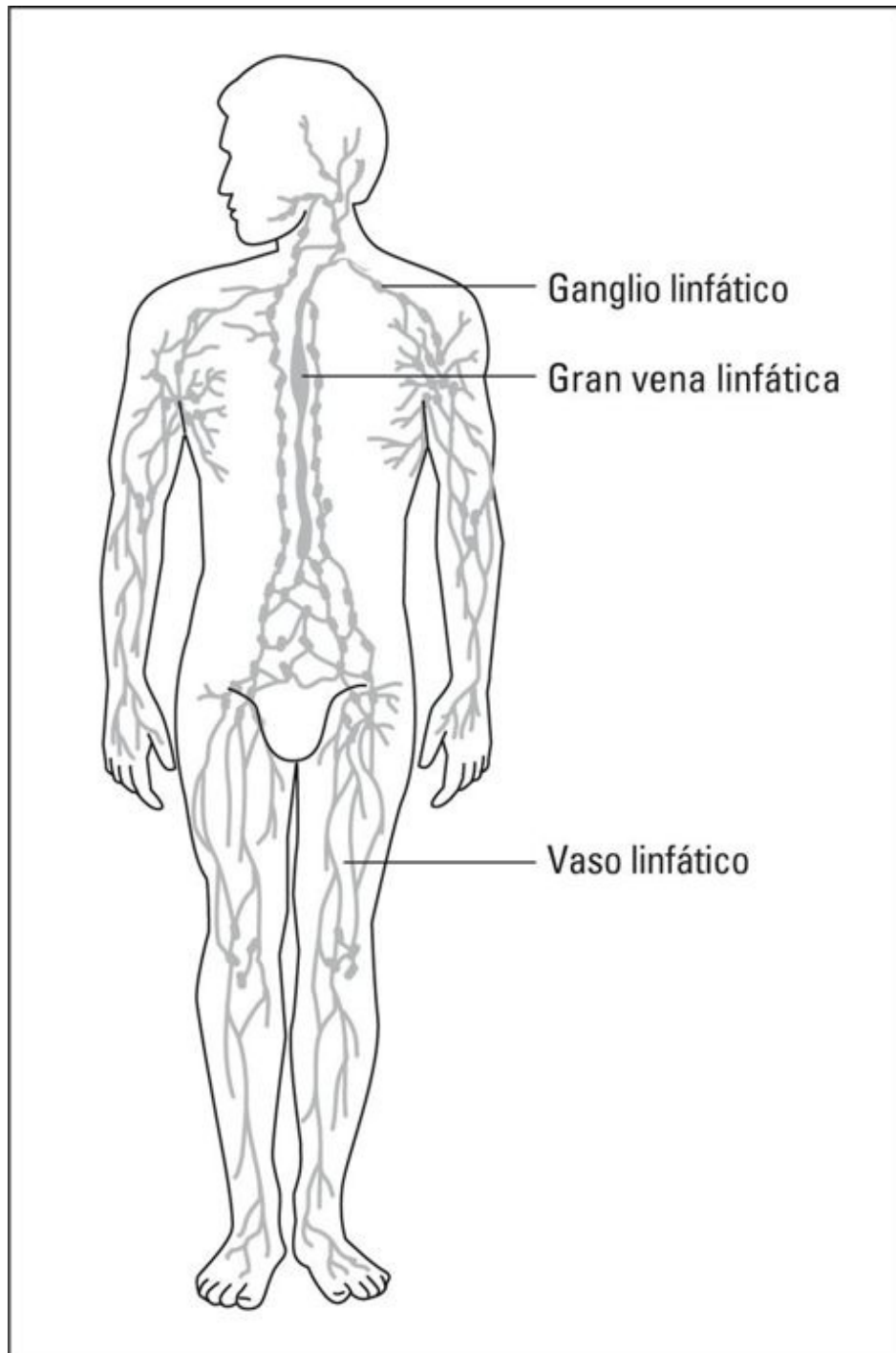


Imagen tomada de LifeART®, Super Anatomy 1, © 2002, Lippincott Williams & Wilkins

Figura 17-2:
El sistema linfático.

- ✓ **Órganos.** Los ganglios linfáticos, el bazo, las amígdalas y el timo son órganos linfáticos. Están llenos de leucocitos que ayudan a combatir

infecciones destruyendo los materiales extraños. Asimismo, en varios órganos del cuerpo hay parches de tejido linfático.



El bazo es un poco diferente al resto de los órganos linfáticos porque está conectado con el sistema circulatorio, de manera que filtra y limpia sangre, en lugar de linfa. Sin embargo, se considera un órgano linfático porque contiene muchos leucocitos y porque elimina materiales extraños.

El sistema inmunitario adquirido: el valor de una lección bien aprendida

Las defensas innatas del organismo evitan las infecciones causadas por la gran mayoría de los microbios. Sin embargo, de vez en cuando un microbio consigue superar las defensas innatas y entra en tu cuerpo. Cuando las defensas innatas sucumben, las tropas del sistema inmunitario adquirido se reúnen y contraatacan.

El *sistema inmunitario adquirido* se llama así porque se construye progresivamente a medida que la persona se expone a microbios concretos, de manera que se adapta y cambia durante toda la vida. Por ejemplo, si te infectas con la bacteria *Escherichia coli*, solo se activarán los leucocitos que reconozcan moléculas específicas de *E. coli*. Si te enfrentas a una infección diferente, pongamos la bacteria *Staphylococcus aureus*, únicamente se activarán los leucocitos que reconozcan moléculas específicas de *S. aureus*. Es decir, cuando las defensas adquiridas acuden a combatir la infección, se activa exactamente el grupo de leucocitos adecuado para combatir a cada patógeno. Eso significa que las defensas adquiridas aprenden a reconocer patógenos concretos cuando tienes contacto con ellos.

Una de las cosas más impresionantes de la inmunidad adquirida es su capacidad para recordar un patógeno que haya visto antes. Esta memoria inmunitaria permite al sistema inmunitario responder de manera mucho más

efectiva cuando vuelves a encontrarte con un determinado patógeno.



Ciertas células del sistema inmunitario, llamadas *células de memoria*, permanecen en un estado semiactivado tras haber sufrido la infección de un patógeno concreto por primera vez. Esas células de memoria y sus descendientes siguen allí durante mucho tiempo después de que se activaran en la primera batalla. Cuando el mismo patógeno se presenta de nuevo, tales células se multiplican a toda velocidad y lo destruyen antes de que te des cuenta siquiera de que ha vuelto; es decir, no sufres la enfermedad. Así pues, las células de memoria son la razón de que algunas enfermedades puedan contraerse una sola vez y luego quedes inmunizado contra ellas. En los apartados siguientes describimos el resto de los componentes del sistema inmunitario adquirido.

Linfocitos T colaboradores: los comandantes en jefe

Los *linfocitos T colaboradores* son leucocitos que coordinan toda la respuesta inmunitaria adquirida (se llaman linfocitos T porque maduran en el *timo*, que es uno de los órganos linfáticos). Estas células reciben señales de los leucocitos que forman las defensas innatas, por ejemplo células dendríticas y fagocitos, y transfieren esas señales a los combatientes de las defensas adquiridas: los linfocitos B y los linfocitos T citotóxicos (en los siguientes apartados hablamos sobre ellos).



Los linfocitos T colaboradores también se llaman *linfocitos CD4* porque tienen una proteína llamada CD4 en la superficie.

Las células dendríticas y los fagocitos (ambos considerados *células presentadoras de antígenos*) activan los linfocitos T colaboradores mostrándoles los antígenos de los microbios que han encontrado. Este proceso

consiste en lo siguiente:

1. Las células presentadoras de antígenos unen fragmentos del antígeno exógeno a proteínas que tienen en la superficie.

Para mostrar el antígeno a los linfocitos T colaboradores, las células presentadoras de antígenos lo colocan en su superficie. Es como si les dijeran a los linfocitos T colaboradores: “¡Mira lo que he encontrado!”.

2. Las células presentadoras de antígenos también liberan citoquinas para indicar que han detectado un antígeno exógeno.

Es como si les dijeran a los linfocitos T colaboradores: “¡Esto tiene pinta de ser peligroso!”.

3. Los linfocitos T colaboradores se unen al antígeno presentado mediante el receptor de linfocitos T.

Solo los linfocitos T cuyos receptores tienen la forma adecuada pueden unirse a un antígeno específico. Por consiguiente, solo se activan los linfocitos T capaces de combatir contra ese antígeno.

Los linfocitos T colaboradores también reciben señales de células presentadoras de antígenos. Por medio de unos receptores especiales, los linfocitos T colaboradores pueden detectar esas señales de alarma que les llegan.

Después de unirse a los antígenos mostrados por las células presentadoras de antígenos, los linfocitos T se activan y empiezan a emitir señales al resto de las células del sistema inmunitario adaptativo.

Linfocitos B y anticuerpos: soldados marchando

Los *linfocitos B* son leucocitos que se activan cuando detectan antígenos exógenos con sus receptores o cuando reciben señales de linfocitos T colaboradores.

Al activarse, forman dos tipos de células: plasmocitos y células de memoria (para más información sobre las células de memoria, lee el apartado anterior “El sistema inmunitario adaptativo: el valor de una lección bien aprendida”).



Los plasmocitos producen *anticuerpos*, proteínas defensivas que se unen a los antígenos, pero no todas a todos sino cada una al suyo. Los anticuerpos producidos por los plasmocitos pasan a la sangre y circulan por todo el cuerpo. Cuando un anticuerpo reconoce un patógeno invasor, lo marca para que lo destruya el sistema inmunitario.

A continuación verás cómo los anticuerpos facilitan que el sistema inmunitario combata las infecciones:

- ✓ Los fagocitos pueden unirse a los anticuerpos, de manera que les resulta más fácil atrapar cualquier cosa que lleve anticuerpos adheridos.
- ✓ Los anticuerpos se unen a los patógenos y forman montones. Eso hace que los fagocitos sean más eficientes, ya que pueden capturar muchas unidades del patógeno de una vez.
- ✓ Los anticuerpos se pegan a la superficie de los virus y de ese modo impiden que se fijen a nuevas células huésped.

Cada plasmocito fabrica anticuerpos para un antígeno en particular, de modo que los plasmocitos vienen a ser como los arqueros del sistema inmunitario. Cada arquero está adiestrado para disparar a un único tipo de diana. Cuando tienes una infección, los linfocitos T colaboradores llaman solo al grupo de arqueros que necesitan para luchar contra ese patógeno en particular.



Cada respuesta inmunitaria adquirida se ha desarrollado para luchar contra un determinado patógeno invasor. Tal especificidad se debe a que los linfocitos B (y los linfocitos T) solo se activan cuando sus receptores reconocen un antígeno exógeno en concreto. Por lo tanto, de los miles de linfocitos B (y T) distintos que el cuerpo puede producir, únicamente un pequeño subconjunto de ellos reacciona a cada patógeno.

Linfocitos T citotóxicos: asesinos celulares

Si los microbios intentan esconderse dentro de las células para que los anticuerpos no los encuentren, los linfocitos T citotóxicos entran en acción. Los *linfocitos T citotóxicos* son leucocitos especializados en la detección de células hospedadoras infectadas. Cuando detectan antígenos exógenos en la superficie de una célula hospedadora infectada, ordenan a la célula que se suicide (un sacrificio necesario para destruir a los microbios escondidos).



Los linfocitos T citotóxicos también se llaman *linfocitos CD8* porque en la superficie tienen una proteína llamada CD8.

Echar una mano a las defensas

Por fuerte que sea el sistema inmunitario humano, los microbios son sorprendentemente poderosos y variados, lo que significa que en ocasiones puedes tropezar con un patógeno capaz de sortear todas tus defensas. Afortunadamente, la ciencia y la medicina están de nuestra parte. Los científicos estudian los microbios y buscan formas de evitar que los patógenos infecten el organismo y causen daños. Los médicos, por su parte, estudian el funcionamiento del cuerpo y la manera de reconocer los síntomas de diversas enfermedades, para así saber las herramientas que deben utilizar para ayudarte a combatir la enfermedad. Juntos, científicos y médicos han descubierto formas de echar una mano al sistema inmunitario humano en caso de necesidad. En los siguientes apartados hablamos sobre estos ayudantes del sistema inmunitario.

Matar bacterias con antibióticos

Los *antibióticos* son moléculas producidas por microorganismos que matan bacterias. El primer antibiótico descubierto, y quizás el más famoso, es la penicilina, producida por un moho muy parecido al que se forma sobre el pan.

Hay muchos otros antibióticos producidos por bacterias que viven en el suelo.



Las estructuras y las enzimas atacadas por los antibióticos son exclusivas de las células bacterianas, de manera que los antibióticos tienen escaso efecto sobre las células humanas (en el capítulo 4 explicamos las diferencias entre células bacterianas y células humanas).

Los antibióticos dieron tan buen resultado cuando fueron descubiertos que todo el mundo pensó que la guerra contra las bacterias ya estaba ganada. Los fondos destinados a la investigación sobre nuevos antibióticos se redujeron por considerar que ya teníamos suficientes armas en nuestro arsenal. Sin embargo, mientras celebrábamos nuestra victoria, los microbios continuaron evolucionando. Actualmente la especie humana se enfrenta a un nuevo problema: las bacterias resistentes a los antibióticos. Estas bacterias no pueden ser erradicadas por algunos de los antibióticos existentes (o incluso por ninguno de ellos).

La paradoja a la que se enfrentan ahora los médicos es que el hecho de utilizar antibióticos aumenta las probabilidades de que surjan nuevas cepas de bacterias resistentes. Es una cuestión de selección natural (en el capítulo 12 abundamos sobre este concepto). En otras palabras: cuando se administran antibióticos, las bacterias más sensibles son las que mueren primero, mientras que las bacterias más resistentes logran sobrevivir. Estas bacterias resistentes se multiplican y crean nuevos ejércitos de bacterias que presentan mayor resistencia al antibiótico. Si este ciclo se repite unas cuantas veces, el antibiótico deja de hacer efecto.

Se calcula que en Europa cada año cuatro millones de personas sufren alguna *infección relacionada con la asistencia sanitaria* (las llamadas *infecciones intrahospitalarias*). De estas, 37.000 acaban falleciendo. Y eso es tan solo una parte del problema. Las infecciones que parecían estar ya bajo control, por ejemplo enfermedades tan peligrosas como la tuberculosis y la peste bubónica, están repuntando en algunos países en vías de desarrollo.

Los científicos y los médicos están aunando esfuerzos de nuevo para combatir la amenaza que representan las bacterias resistentes a los antibióticos. Los

científicos están buscando nuevos antibióticos y nuevas estrategias para luchar contra las bacterias, y los médicos son más prudentes a la hora de recetar antibióticos. Al reservar los antibióticos para aquellos casos en que sean realmente necesarios, los médicos ralentizan el proceso de selección natural y contribuyen a que los antibióticos continúen surtiendo efecto el mayor tiempo posible. Pero esos esfuerzos serán inútiles si las personas nos automedicamos y tomamos antibióticos cuando queremos, sin que nos los prescriba el médico; y también si empezamos a tomar los que nos receten y los dejamos al empezar a sentirnos bien sin haber acabado el tratamiento prescrito.

Utilizar virus para matar bacterias perjudiciales

El concepto de virus útil quizá te resulte extraño, pero los *bacteriófagos* (o *fagos*, para abreviar) son exactamente eso: virus que atacan exclusivamente a células bacterianas.

Los virus bacteriófagos fueron descubiertos a principios del siglo pasado en el Instituto Pasteur de París. El microbiólogo canadiense Félix d'Hérelle se tropezó con estas diminutas formas de vida mientras buscaba una forma de tratar la disentería. Observó que los fagos invadían y destruían por completo una colonia entera de bacterias mucho más grandes. Como es lógico, pensó que los microbios podrían ayudar a eliminar algunas de las peores infecciones bacterianas que asolaban el mundo en aquella época.

Hasta 1940, aproximadamente, aquellos microbios minúsculos (tienen tan solo una catorceava parte del tamaño de una bacteria) fueron la cura milagrosa para muchas infecciones bacterianas. Luego aparecieron los antibióticos y la comunidad médica le dio la espalda a esas pequeñas formas de vida. Cada fago destruye un grupo reducido de bacterias, de modo que los antibióticos (que tienen un campo de acción mucho más amplio) son una solución más práctica para el problema de las infecciones.

Sin embargo, el incremento de las bacterias resistentes a los antibióticos (asunto que hemos tratado en el apartado anterior) ha hecho que los médicos y científicos actuales vuelvan a valorar las ventajas de los fagos. Estas son las más destacadas:

- ✓ Los fagos se cuentan entre las formas de vida más abundantes de la Tierra.
- ✓ Los fagos sobreviven y se reproducen en los mismos lugares que las bacterias. Nadan tranquilamente en las aguas fecales y se ocultan en muchos rincones de tu cuerpo.
- ✓ Los fagos se reproducen rápidamente. Tras invadir una célula bacteriana, surgen hasta 200 nuevas unidades cada hora. A ese ritmo, su pared celular no tarda mucho en reventar, lo cual supone el fin de esa bacteria. Pero la cosa no termina ahí; los fagos recién multiplicados continúan cargándose a todas las bacterias que se cruzan en su camino hasta terminar con la colonia entera en muy poco tiempo.

Los científicos están intentando resolver los problemas que todavía entraña la terapia fágica, entre ellos el tiempo que se tarda en identificar las bacterias que destruye cada fago. Los expertos recomiendan hacer un uso prudente de la terapia fágica para impedir el desarrollo de bacterias resistentes a los fagos, pero también dicen que estos tratamientos pueden resultar muy valiosos como último recurso, cuando fallen incluso los antibióticos más potentes.

Combatir los virus con antivíricos

Controlar los virus es incluso más difícil que controlar las bacterias. Los virus no son células y tienen muy pocas moléculas que puedan servir de objetivo para los fármacos. Cuesta mucho verlos, aislarlos e identificarlos. Además, existe otro problema para el desarrollo de terapias antivíricas: la célula huésped y los virus se integran de tal modo que a veces resulta complicado dirigir el ataque contra el virus sin destruir ni alterar los mecanismos de la propia célula. Por eso en muchos casos los médicos no pueden hacer otra cosa que tratar los síntomas de las enfermedades víricas, en lugar de las enfermedades en sí mismas.

De todos modos, hay un par de opciones para tratar las infecciones víricas:

- ✓ Es posible utilizar interferones y citoquinas para estimular la respuesta inmunitaria ante los virus. Actualmente, estas proteínas humanas pueden

ser creadas en un laboratorio igual que se crean bacterias modificadas genéticamente (en el capítulo 9 encontrarás más información sobre la ingeniería genética).

- ✓ Existen fármacos antivíricos que actúan contra proteínas víricas concretas y pueden utilizarse para tratar varias enfermedades de origen vírico, como la gripe, el herpes y el VIH.



El término *antibiótico* se aplica de manera específica a los medicamentos que combaten células bacterianas. Cuando estés hablando de medicamentos para infecciones víricas, llámalos *antivíricos*, no *antibióticos*.

Las vacunas toman la delantera



Las *vacunas*, preparados químicos que contienen fragmentos de microorganismos patógenos, se introducen en el cuerpo para generar memoria inmunitaria y así prevenir enfermedades. Cuando te ponen una vacuna, los antígenos del patógeno penetran en tu organismo y son procesados por tu sistema inmunitario. Las células presentadoras de antígenos recogen los fragmentos y los enseñan a los linfocitos T colaboradores. A continuación, los linfocitos T colaboradores activan a los linfocitos B y a los linfocitos T citotóxicos. En la vorágine de la respuesta inmunitaria adquirida, se forman las células de memoria B y T. Estas células recuerdan los antígenos y están preparadas para defenderte si algún día se presenta el patógeno real. Si eso ocurre, el sistema inmunitario actúa con tanta rapidez y eficacia que el patógeno desaparece del mapa antes de que te percales siquiera de su presencia.

El éxito de las vacunas se ve ensombrecido por el temor de algunos a que no sean seguras. Debido a estos temores o recelos, algunas personas toman la decisión de no vacunar a sus hijos, lo que aumenta el riesgo de que contraigan enfermedades infecciosas y de que las transmitan a otros niños.

A continuación exponemos algunos puntos que deben tenerse en cuenta en relación con la seguridad de las vacunas:

- ✓ **Los riesgos de una vacuna son menores que los riesgos de la enfermedad.** Todas las vacunas tienen riesgos y pueden causar efectos secundarios. Sin embargo, para que sea autorizada por el órgano de sanidad competente, los efectos secundarios deben ser mucho menos graves que los efectos de la enfermedad y el riesgo de que aparezcan dichos efectos secundarios debe ser mucho menor que el riesgo de contraer la enfermedad.
- ✓ **Muchas enfermedades que se consideran simples molestias pueden tener complicaciones extremadamente graves.** El sarampión, por ejemplo, que mucha gente considera una enfermedad relativamente inofensiva, es la sexta causa de muerte infantil en todo el mundo. La infección por sarampión puede dar lugar a complicaciones como encefalitis (inflamación del cerebro) y neumonía. Según datos facilitados por la OMS, solo en el año 2000, el sarampión causó la muerte de 777.000 niños. Este dato resulta especialmente trágico si tenemos en cuenta que el sarampión puede prevenirse con una vacuna.
- ✓ **Muchas personas de países ricos desconocen la amplia repercusión de las enfermedades infecciosas.** La mayoría de las personas jóvenes que viven en países desarrollados han crecido en una época de fácil acceso a las vacunas. En esos países quedan pocas personas que padecieran poliomelitis, y casi nadie recuerda los tiempos en que muchos enfermos acabaron confinados en pulmones de acero porque la poliomelitis les había paralizado los músculos necesarios para respirar. Debido a este desconocimiento, el temor a las enfermedades infecciosas ha disminuido en estos países y por eso hay gente que cuestiona la necesidad de vacunarse.
- ✓ **En internet los rumores corren como la pólvora.** Gracias a internet, desde la comodidad de nuestro hogar podemos acceder a todo un mundo de información. El problema de esa información es que no siempre es exacta y fiable. Los libros pasan por las manos de correctores, y los artículos científicos y médicos son revisados por grupos de expertos antes de su publicación. Sin embargo, para colgar información en internet solo necesitas algo de dinero con el que pagar un nombre de dominio y un servidor que aloje tus contenidos. Un sitio web de aspecto oficial puede llamar a engaño en cuanto a la fiabilidad que ofrece, de manera que debes comprobar siempre la fuente de tu información.

Las vacunas son la única herramienta que tenemos para controlar la propagación de algunas enfermedades víricas. Existen tres tipos de vacunas:

- ✓ Las **vacunas inactivadas** contienen patógenos muertos. Se elaboran con fracciones del patógeno, pero el patógeno es incapaz de reproducirse.
- ✓ Las **vacunas atenuadas** se elaboran con patógenos vivos pero

debilitados. Los patógenos se han alterado en el laboratorio de forma que conservan su forma original, salvo las partes con las que provocan la infección.

- ✓ Las **vacunas de subunidades** contienen únicamente fracciones del patógeno, por ejemplo los antígenos que mejor reconoce el organismo.

La viruela ha sido prácticamente eliminada de la faz de la Tierra gracias a la vacunación. La Organización Mundial de la Salud (OMS), que dedica grandes esfuerzos a controlar la propagación de enfermedades infecciosas en todo el mundo, está trabajando actualmente para erradicar la poliomelitis por medio de campañas de vacunación y también tiene previsto acabar con el sarampión. La erradicación de la viruela, la poliomelitis y el sarampión es posible porque los seres humanos somos la única especie huésped para los virus respectivos, es decir, no pueden multiplicarse y mutar en animales. Por lo tanto, cuando te vacunan contra estas enfermedades, tu memoria inmunitaria pasa a controlar la situación y ya no puedes contagiarte.

Los virus de la gripe son un poco diferentes. Mutan tan de prisa que todos los años se necesitan vacunas nuevas. Mediante la mutación los virus se transforman y se adaptan continuamente a nuevos entornos intracelulares y escapan de la respuesta inmunitaria del organismo hospedador. Las mutaciones pueden alterar cualquier cosa: desde la virulencia de un virus hasta su capacidad de unirse a nuevos tipos de células o infectar nuevos organismos huésped. Un ejemplo que hace al caso: la pandemia de gripe porcina de 2009 se debió a una cepa de gripe H1N1 que presentaba una combinación única de genes procedentes de tres cepas distintas, algunas de las cuales no habían infectado nunca a seres humanos. Debido a esta combinación de genes tan singular, la gripe H1N1 también presentaba una combinación de antígenos sin igual y no había ningún ser humano que tuviera memoria inmunitaria para ello. Esta falta de inmunidad permitió al virus propagarse con facilidad, lo que causó la pandemia.

Cambios en el sistema inmunitario:

vejez y achaques

A medida que el cuerpo crece, se desarrolla y envejece, el sistema inmunitario va cambiando. Durante los muy activos años de la pubertad, el timo empieza a hacerse más y más pequeño hasta que casi no queda rastro de él en la edad adulta. Sin el timo, los linfocitos T no se diferencian tan bien ni tan a menudo. La producción de linfocitos B también empieza a caer. Cuando las células precursoras de los linfocitos T y los linfocitos B experimentan una bajada de producción, a la médula de hueso le resulta más difícil llevar a cabo la división celular.



El debilitamiento del sistema inmunitario explica por qué las personas son más proclives a las infecciones en la vejez.

Aunque resulte paradójico, las personas de edad avanzada también tienen un riesgo mayor de *enfermedades autoinmunes*, aquellas en que las células sanas del cuerpo son atacadas por células del propio sistema inmunitario. Un ejemplo de enfermedad autoinmune mucho más común entre la gente mayor que entre los jóvenes es la artritis. En las personas aquejadas de *artritis*, las células del sistema inmunitario atacan a las células de los espacios articulares, causando inflamación y deterioro (por no hablar del dolor).

Capítulo 18

Los sistemas nerviosos y endocrino: mensajeros de lo extraordinario

En este capítulo

- ▶ Conocer las partes del sistema nervioso
 - ▶ Estudiar cómo funcionan el cerebro y los sentidos
 - ▶ Ver cómo viaja un impulso nervioso por el sistema nervioso
 - ▶ Descubrir que el sistema endocrino utiliza hormonas para regular tu funcionamiento interno
-

Con todos los procesos y las reacciones metabólicas que tienen lugar en el interior de los seres vivos, los organismos deben ser capaces de ejercer algún control para evitar el caos. Aquí es donde entran en acción el sistema nervioso y el endocrino. El sistema nervioso, compuesto por el cerebro y los nervios, se encarga de recoger información de los órganos sensoriales, interpretar esa información y coordinar una respuesta. El sistema endocrino libera hormonas químicas que viajan por todo el cuerpo y regulan ciclos metabólicos. En este capítulo hablamos sobre la estructura y el funcionamiento de ambos sistemas, y exploramos cómo responde a sus señales el cuerpo humano.

Los entresijos de los sistemas nerviosos

Algunos animales son los únicos seres vivos dotados de sistema nervioso, que es el conjunto de órganos que recibe e interpreta señales sensoriales procedentes del entorno y luego envía mensajes para dirigir la respuesta del animal. La complejidad del sistema nervioso de un animal depende de la complejidad del propio animal, que se refleja en el grupo taxonómico al que pertenece; así:

- ✓ Los animales que carecen de una cabeza y una cola bien definida tienen *red nerviosa*, un conjunto de células nerviosas que se extienden de manera difusa por todo el cuerpo. Las esponjas y las medusas son buenos ejemplos de animales dotados de red nerviosa.
- ✓ Muchos animales invertebrados tienen un sistema nervioso bastante sencillo, formado por unos ganglios a modo de cerebro y unos cordones nerviosos que recorren el cuerpo. Es el caso de los moluscos, los gusanos y todos los artrópodos, entre los que se encuentran los insectos.
- ✓ Los vertebrados tienen un sistema nervioso muy evolucionado dividido en dos partes:
 - El *sistema nervioso central* (SNC) está formado por el encéfalo (que está en la cabeza) y la médula espinal (que corre por dentro de la columna vertebral). El encéfalo, a su vez, está formado por el cerebro, el cerebelo y el tronco encefálico (también llamado *tallo cerebral*).
 - El *sistema nervioso periférico* (SNP) está formado por todos los nervios que recorren el cuerpo del animal.

Todos los tejidos del sistema nervioso están formados por unas células particulares llamadas *neuronas*.



La tendencia de los animales a tener las neuronas concentradas en el extremo del cuerpo donde se encuentra la cabeza se llama *cefalización*. La tendencia a tener un sistema nervioso central se denomina *centralización*.

En los siguientes apartados hablaremos con detenimiento sobre el SNC

y el SNP, para que sepas distinguir entre ambos. Asimismo, te explicaremos el funcionamiento de las neuronas y cómo consiguen actuar sin mediación del cerebro en ocasiones especiales.

Diferencias entre el SNC y el SNP

En los animales que tienen columna vertebral, entre ellos tú, el SNC (representado en la figura 18-1) lo componen el cerebro y la médula espinal. En el *cerebro* se procesa la información procedente de los órganos sensoriales, se controlan las emociones y la inteligencia, y se dirige la homeostasis (que está explicada en el capítulo 13). La *médula espinal* dirige el flujo de información que entra y sale del cerebro; está rodeada por el llamado *líquido cefalorraquídeo*, que protege al SNC frente a posibles impactos y además ayuda a suministrar nutrientes y eliminar desechos.

Tanto el cerebro como la médula espinal están muy protegidos. Una capa de protección es la barrera hematoencefálica, formada por los capilares que rodean el cerebro. Estos capilares son muy quisquillosos con lo que dejan entrar en el cerebro o en el líquido cefalorraquídeo. La segunda capa de protección son las meninges, tres capas de tejido conectivo que rodean el cerebro y la médula espinal.



El sistema nervioso se ramifica en el SNP (también representado en la figura 18-1), que está dividido en dos sistemas:

- ✓ **Sistema nervioso somático.** Esta parte del SNP conduce las señales que envían y reciben los músculos esqueléticos. Controla muchas de las respuestas voluntarias a las señales del entorno. En tu caso, los movimientos que haces al caminar, al lanzar un balón a canasta o al conducir un coche están controlados por el sistema nervioso somático.
- ✓ **Sistema nervioso autónomo.** Esta parte del SNP controla los procesos internos (en su mayoría involuntarios) del cuerpo, por ejemplo los latidos del corazón o la digestión. Tiene dos divisiones que actúan en

sentidos opuestos para mantener la homeostasis.

- El *sistema nervioso simpático* estimula automáticamente el cuerpo cuando es necesario que entre en acción. Es la parte del sistema nervioso que se encarga de la *respuesta de lucha o huida*, para lo cual provoca una descarga de adrenalina que hace que el cuerpo disponga de energía rápida y pueda escapar del peligro. El sistema nervioso simpático también aumenta la frecuencia cardíaca para que la sangre circule más rápido por los vasos sanguíneos cuando se necesita; asimismo hace que el azúcar procedente de las reservas de glucógeno del hígado pase al torrente sanguíneo para que las células dispongan de combustible.
- El *sistema nervioso parasimpático* estimula funciones más rutinarias, como la secreción de enzimas digestivas o saliva. Contrariamente al sistema nervioso simpático, el sistema nervioso parasimpático disminuye la frecuencia cardíaca cuando la respuesta de lucha o huida deja de ser necesaria.

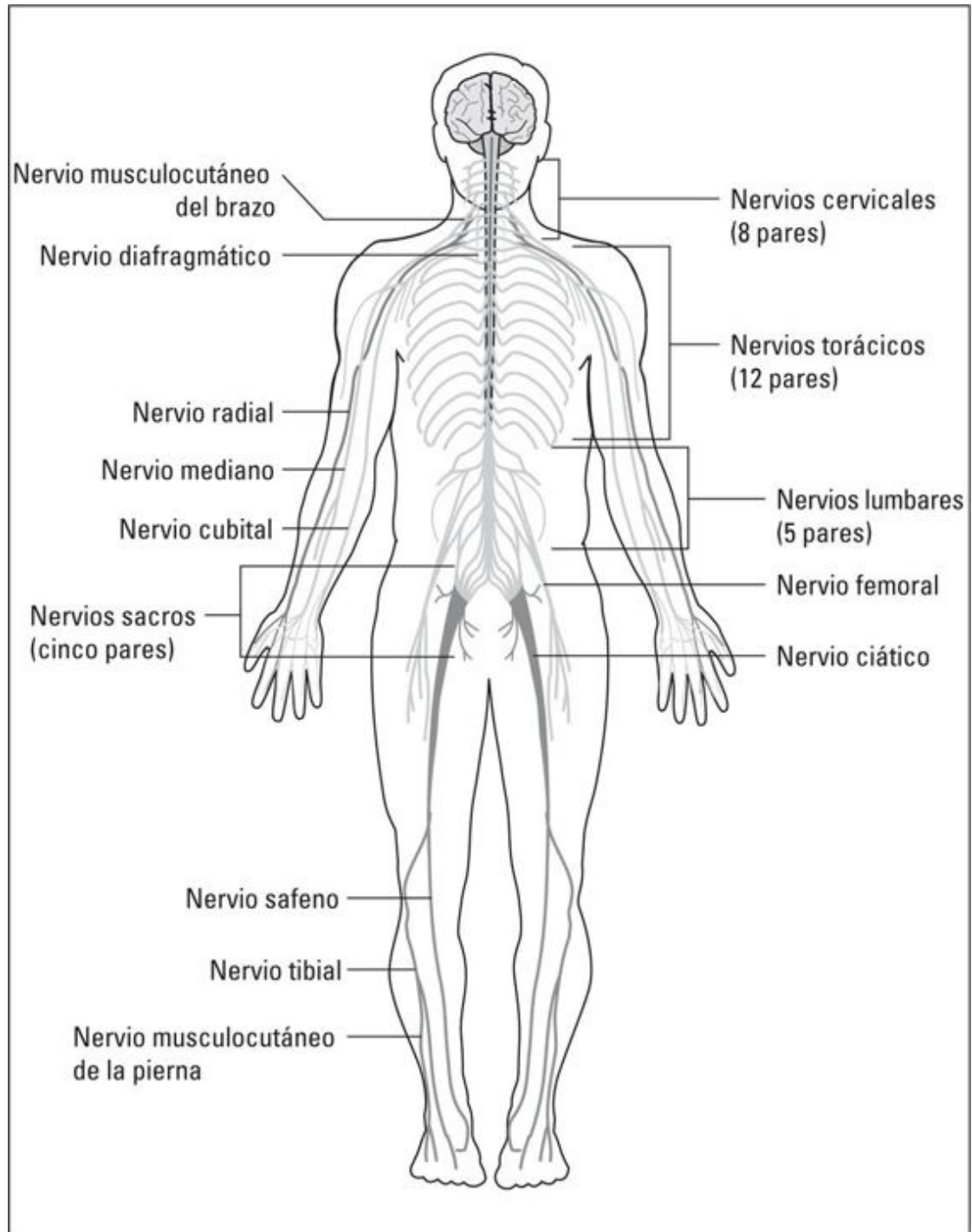


Imagen tomada de LifeART®, Super Anatomy 1, © 2002, Lippincott Williams & Wilkins

Figura 18-1:
El sistema nervioso humano.

La estructura de las neuronas

El sistema nervioso se compone de dos tipos de células: neuronas y neurogliocitos. Las *neuronas* son las células que reciben y transmiten señales; los *neurogliocitos* son los sistemas de apoyo de las neuronas (dicho de otro modo: protegen y alimentan a las neuronas).

Las neuronas tienen una estructura peculiar, como puedes ver en la figura 18-2.

- ✓ Cada neurona tiene un *cuerpo celular*, o *soma*, en cuyo interior hay un núcleo y orgánulos tales como mitocondrias, retículo endoplasmático y un aparato de Golgi (en el capítulo 4 encontrarás más información sobre células y orgánulos).
- ✓ Del cuerpo celular salen unas proyecciones minúsculas llamadas *dendritas* que constituyen el extremo receptor de la neurona. Las dendritas son como pequeñas antenas que captan señales de otras células.
- ✓ El extremo opuesto de la neurona termina en una fibra larga y delgada llamada *axón*. El axón está recubierto por una vaina de mielina, compuesta a su vez por unos segmentos llamados células de Schwann.

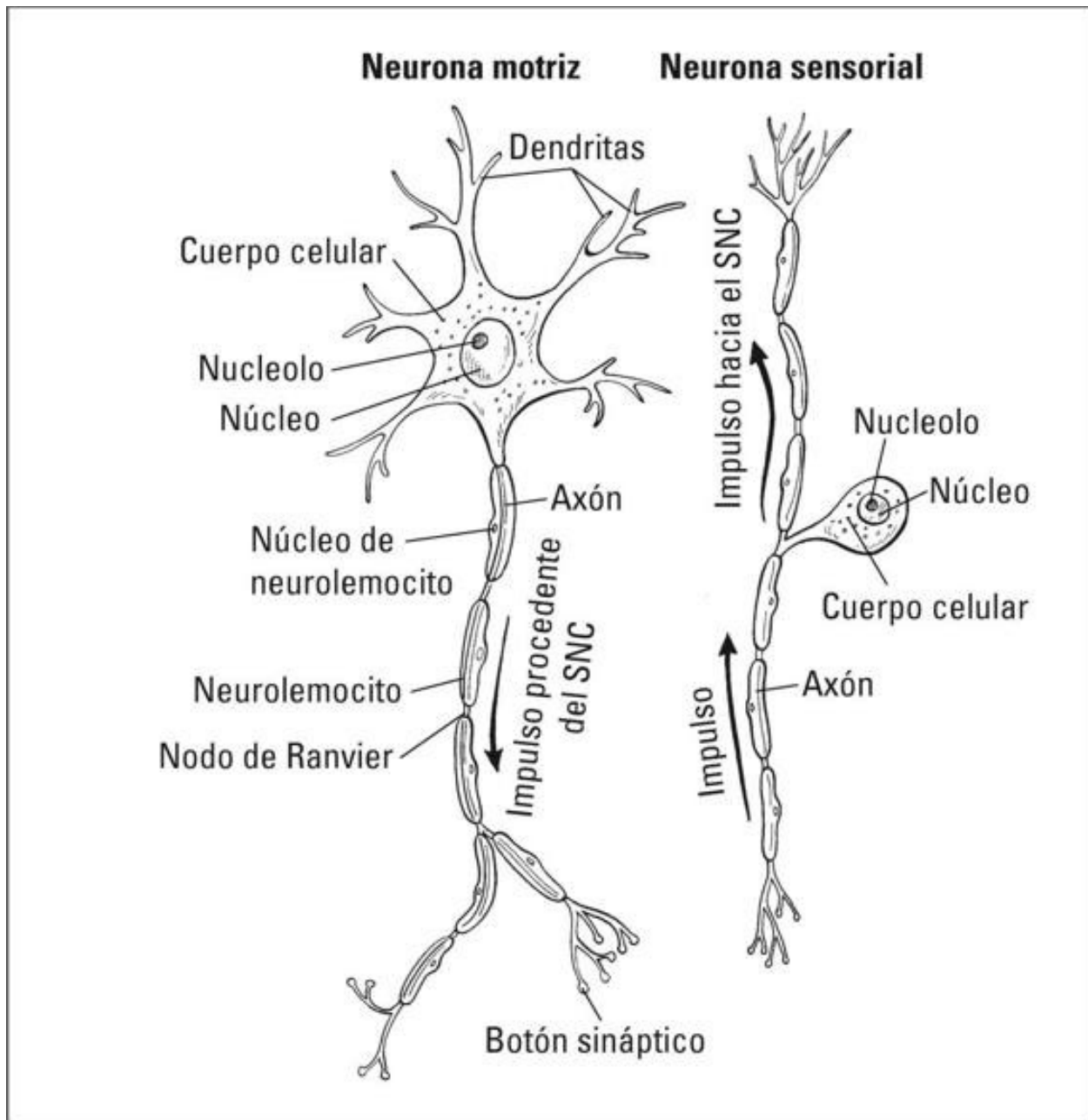


Figura 18-2:

Estructura básica de una neurona motora (izquierda) y una neurona sensorial (derecha), incluido el recorrido de un impulso nervioso.



Los impulsos nerviosos entran en la neurona a través de las dendritas, llegan al cuerpo celular y continúan por el axón. Cuando alcanzan las ramificaciones que hay en el extremo del axón, los impulsos se transmiten

a la siguiente neurona y continúan transmitiéndose de esta forma hasta que alcanzan su destino final.

Procesar señales con los tres tipos de neuronas



Las tres funciones principales de un sistema nervioso son captar, interpretar y responder a señales. Existen diferentes tipos de neuronas que realizan cada una de estas funciones.

- ✓ **Las neuronas sensoriales reciben información sensorial y la conducen al SNC.** También llamadas *neuronas aferentes*, las neuronas sensoriales están diseñadas principalmente para recibir estímulos iniciales de los órganos sensoriales (ojos, oídos, lengua, piel y nariz). No obstante, también se encargan de recibir estímulos generados por el propio organismo y relativos a ajustes que son necesarios para el mantenimiento de la homeostasis. Por ejemplo, si tocas el filo de un cuchillo las terminaciones nerviosas del dedo transmiten impulsos a otras neuronas hasta que el impulso llega a una interneurona.
- ✓ **Las interneuronas del SNC integran la información sensorial y envían señales de respuesta.** También llamadas *neuronas conectoras* o *neuronas intercalares*, las interneuronas *leen* los impulsos procedentes de las neuronas sensoriales. Cuando recibe un impulso de una neurona sensorial, la interneurona determina si debe generarse una respuesta y cuál será. Si se requiere una respuesta, la interneurona transmite el impulso a las neuronas motoras. Siguiendo con el ejemplo del párrafo anterior, las interneuronas del córtex cerebral procesan la información sensorial que les llega y envían señales de respuesta.
- ✓ **Las neuronas motoras transmiten las señales de respuesta del SNC a las células que van a llevar a cabo la respuesta.** También llamadas *neuronas eferentes*, las neuronas motoras estimulan células activadoras que generan reacciones. Para terminar con el ejemplo anterior, las

señales de respuesta del cerebro viajan por las neuronas motoras hasta llegar a los músculos, indicándoles que se contraigan y aparten el dedo del cuchillo afilado.

Actuar sin pensar



A veces el sistema nervioso puede actuar sin la mediación del cerebro, como ocurre en un arco reflejo. Un *arco reflejo* proporciona a los nervios sensoriales acceso directo a los nervios motores, de modo que la información se transmite inmediatamente.

Cuando tocas una cazuela caliente, las terminaciones nerviosas detectan que la temperatura es demasiado alta e instantáneamente envían un mensaje a los nervios motores: “¡Retira la mano!”. Los nervios motores activan los músculos adecuados y estos apartan la mano antes de que tú hayas pensado siquiera en hacerlo. El cerebro entra en escena cuando ya casi has solucionado el problema (has apartado la mano), cuando sientes el dolor de la quemadura o piensas para tus adentros lo tonto que has sido al tocar la cazuela caliente.

El cerebro y los cinco sentidos: ¡sensacional!

El cerebro es el órgano maestro de los animales que tienen sistema nervioso central, ya que recibe toda la información que transmiten los órganos sensoriales y genera las respuestas adecuadas. El cerebro puede dividirse en tres grandes partes: el prosencéfalo (la parte superior), el mesencéfalo (la parte del medio) y el rombencéfalo (la parte inferior). Además de esta triple división, el cerebro se organiza en cuatro grandes regiones:

- ✓ **Telencéfalo.** El *telencéfalo* es la región más grande del cerebro y regula la actividad consciente. Se encuentra en la parte superior del cerebro y se divide en dos mitades llamadas *hemisferios cerebrales*, uno derecho y otro izquierdo. Cada hemisferio cerebral tiene cuatro lóbulos que toman

sus nombres de los huesos craneales que los protegen: frontal, parietal, temporal y occipital. En cada lóbulo hay áreas que regulan funciones concretas, por ejemplo, la concentración, el reconocimiento del habla, la memoria, etc.

- ✓ **Diencéfalo.** Situado en el centro del cerebro, el *diencéfalo* está constituido por el tálamo y el hipotálamo. El *tálamo* procesa la información que entra y sale de la médula espinal. Por su parte, el *hipotálamo* controla la homeostasis regulando el hambre, la sed, la temperatura corporal, el equilibrio hídrico y la presión arterial. En la base del hipotálamo se encuentra la *glándula pituitaria*, que ayuda a mantener la homeostasis del organismo mediante la secreción de hormonas.
- ✓ **Cerebelo.** El *cerebelo*, situado en la base del cerebro, coordina funciones musculares, como mantener la postura y el tono muscular normal.
- ✓ **Tronco encefálico.** Situado debajo del cerebelo, el *tronco encefálico* se compone de tres estructuras: el mesencéfalo, la protuberancia y el bulbo raquídeo. El tronco encefálico controla funciones críticas, como la respiración y el latido cardíaco.



Seguro que no sabías que la médula espinal es, en realidad, una continuación del tronco encefálico. Ya nos agradecerás esta perla de sabiduría cuando aciertes la pregunta extra y saques un diez en tu próximo examen de biología.

Los órganos sensoriales humanos (los ojos, los oídos, la piel, la nariz y la lengua) ayudan a proteger el organismo. Están plagados de receptores que transmiten información a los lugares adecuados del sistema nervioso por medio de las neuronas sensoriales. Cada órgano sensorial contiene diferentes receptores.

- ✓ Los **receptores generales** están por todo el cuerpo. Los hay en la piel, en las vísceras (*víscera* significa que se encuentran en la cavidad

abdominal), en los músculos y en las articulaciones.

- ✓ Los **receptores especiales** son *quimiorreceptores* (receptores químicos), localizados en la boca y en la nariz, *fotorreceptores* (receptores de luz), que se limitan a los ojos, y *mecanorreceptores* (receptores de movimiento), que se encuentran en los oídos.

La tabla 18-1 compara los distintos tipos de receptores que hay en el sistema nervioso de un animal.

Tabla 18-1: Tipos de receptores y sus funciones		
Receptor	Ubicación	Función
Quimiorreceptor	Papilas gustativas, cilios de la cavidad nasal	Detectan sustancias químicas en los alimentos y en el aire.
Mecanorreceptor	Cilios de los oídos	Detectan los movimientos de la membrana timpánica y los huesecillos del oído.
Osmorreceptor	Hipotálamo	Detectan la concentración de las sustancias disueltas en la sangre.
Fotorreceptor	Retina	Detectan la luz.
Propiorreceptor	Músculos	Detectan la posición y el movimiento de las extremidades.
Receptores de elongación	Pulmones, tendones, ligamentos	Detectan la elongación del tejido muscular.

En los apartados siguientes analizamos los cinco sentidos, con especial hincapié en las características de funcionamiento propias de los seres humanos.

Fragancias, tufos y demás: el olfato

Cuando entras en tu casa y hueles a tarta de manzana y a sofrito de pimientos y cebolla, ¿cómo sabes que la tarta de manzana es tarta de manzana y que los pimientos y la cebolla son pimientos y cebolla, y no berenjena y calabacín? La

clave está en las *células olfativas*, las responsables de que puedas oler.

Las células olfativas se encuentran en el epitelio de la parte superior de la cavidad nasal. En uno de sus extremos tienen cilios, que se proyectan hacia el interior de la cavidad nasal (en el capítulo 4 encontrarás más información sobre los cilios). En el otro extremo tienen fibras nerviosas olfativas, que atraviesan el hueso etmoides y penetran en el bulbo olfativo, conectado directamente con la corteza cerebral.



Cuando respiras, todo lo que hay en el aire inhalado penetra en la cavidad nasal.

Lo que hueles no es el aire ni el polvo ni el polen, sino sustancias químicas. Las células olfativas son quimiorreceptores, lo que significa que tienen receptores de proteínas capaces de detectar leves diferencias en la composición de las sustancias químicas.

Cuando inspiras al entrar en la cocina, las sustancias químicas de la tarta de manzana, los pimientos y las cebollas penetran en tu cavidad nasal. Allí las sustancias químicas se unen a los cilios y generan un impulso nervioso que recorre las células olfativas, penetra en la fibra nerviosa olfativa, sube por el bulbo olfativo y llega directamente al cerebro. Y es precisamente el cerebro el que determina qué estás oliendo. Si ese olor ya lo has percibido antes y te resulta familiar, el cerebro recuerda la información almacenada en tu memoria. En cambio, cuando hueles algo por primera vez necesitas utilizar otro sentido, por ejemplo el gusto o la vista, para crear una impresión en la memoria cerebral.

¡Mmm, qué rico!: el gusto

El olfato y el gusto siempre van de la mano. Si no eres capaz de oler algo, tampoco podrás decir a qué sabe. Eso es porque las papilas gustativas y las células olfativas (descritas en el apartado anterior) son quimiorreceptores diseñados para detectar sustancias químicas. La lengua está recubierta de *papilas gustativas*, grupos de células especializadas en reconocer sabores. Las

células receptoras gustativas que hay en el interior de las papilas gustativas te permiten detectar cinco sabores diferentes: dulce, amargo, ácido, salado y *umami*, palabra japonesa que significa sabroso o gustoso; nombra un sabor difícil de describir que empezó a reconocerse como el quinto de los reconocibles mucho después que los otros cuatro.



Mucha gente cree que las papilas gustativas son esas pequeñas protuberancias que tenemos en la lengua, pero no es así. Esos bultitos son papilas; las papilas gustativas se encuentran en los surcos que hay entre las papilas.

Los alimentos contienen sustancias químicas, y cuando te metes algo en la boca las células receptoras gustativas de la lengua son capaces de detectar lo que estás ingiriendo. Cada papila gustativa tiene en el extremo un poro, por el que entran las sustancias químicas del alimento para luego llegar a las células receptoras gustativas. Estas conectan con las fibras nerviosas sensoriales que conducen las señales gustativas al cerebro.



El sentido del gusto te permite disfrutar de la comida que necesitas ingerir para sobrevivir, pero tiene otra función todavía más importante. Cuando las papilas gustativas detectan sustancias químicas, envían al cerebro una señal que activa la producción y liberación de las enzimas digestivas adecuadas para descomponer los alimentos que estás ingiriendo. Esta función permite que el sistema digestivo funcione de manera óptima y extraiga de los alimentos la mayor cantidad posible de nutrientes.

Óyeme bien: el oído

El oído es el órgano sensorial responsable de la audición. Se activa cuando las ondas sonoras pasan por el conducto auditivo externo y llegan al oído medio, donde se encuentra el tímpano. Cuando una onda sonora choca contra el tímpano, este transmite el movimiento a unos huesecillos (llamados martillo,

yunque y estribo). Ese movimiento es captado por los mecanorreceptores del oído medio, situados en las células ciliadas que hay entre el extremo de los conductos semicirculares óseos y el vestíbulo. Cuando los cilios se mueven, generan un impulso que se envía a través de la cóclea hasta el octavo nervio craneal y luego al cerebro, que se encarga de interpretar la información.



Los oídos hacen una cosa más por ti que no tiene nada que ver con la audición: te ayudan a mantener el *equilibrio*. Los conductos semicirculares óseos del oído medio están llenos de un líquido llamado endolinfa. Cualquier movimiento de este líquido es detectado de inmediato por los cilios. Los cilios transmiten impulsos al cerebro con información sobre el movimiento angular y rotacional, así como el movimiento en los planos horizontal y vertical, y esa información es lo que permite al organismo mantener el equilibrio.



Cuando el líquido del oído no deja de moverse, puedes experimentar cinetosis (mareos), que es esa sensación que se siente muy a menudo al ir en coche o en barco.

Ver para creer: la vista

La visión es quizás el más complejo de los cinco sentidos, pues depende del correcto funcionamiento de todas las partes del ojo.

- ✓ La parte coloreada del ojo se llama *iris*. En realidad es un músculo pigmentado que controla el tamaño de la pupila. La *pupila* es la circunferencia negra que tienes en el centro del iris; se dilata y se contrae para que entre más o menos luz en el ojo.
- ✓ La *córnea* es una capa que recubre y protege el iris y la pupila.
- ✓ El *crystalino* del ojo se encuentra justo detrás de la pupila. Está conectado al iris por un músculo diminuto llamado *músculo ciliar*, que cambia la forma del cristalino para ayudarte a enfocar objetos a

diferentes distancias. Más concretamente, el cristalino se aplanar para que puedas enfocar objetos lejanos y se curva si necesitas ver algo de cerca. El proceso de cambio de forma del cristalino se llama *acomodación* (la capacidad de acomodación se va perdiendo con la edad, lo que obliga a utilizar gafas de vista cansada).

- ✓ El *cuerpo vítreo* es una masa transparente situada detrás del cristalino, rellena de una sustancia gelatinosa llamada *humor vítreo*. Esta sustancia es la que da forma al globo ocular y además transmite la luz a la parte más posterior del ojo, donde se encuentra la retina.
- ✓ La *retina* contiene dos tipos de fotorreceptores que detectan la luz.
 - Los *bastones* detectan el movimiento y pueden funcionar en condiciones de baja luminosidad.
 - Los *conos* detectan los detalles finos y el color, y cumplen mejor su función cuando hay mucha luz. Existen tres tipos de conos, cada uno sensible a un color diferente: rojo, azul o verde (cuando falta un tipo de conos, la persona padece daltonismo. Por ejemplo: si te faltan los conos rojos, no puedes ver el color rojo).

La luz incide sobre los bastones y los conos y genera impulsos nerviosos que llegan a dos tipos de neuronas: primero a las células bipolares y luego a las células ganglionares. Los axones de las células ganglionares forman el *nervio óptico*, que conduce los impulsos directamente al cerebro.



En la retina hay aproximadamente 150 millones de bastones pero tan solo un millón de células ganglionares y fibras nerviosas, de manera que es posible estimular muchos más bastones que células y fibras nerviosas para transmitir los impulsos. Por lo tanto, los ojos tienen que combinar mensajes antes de poder enviar los impulsos al cerebro.

Hora de tocar: el tacto



Los ojos, los oídos, la nariz y la lengua contienen receptores especiales. La piel, en cambio, únicamente contiene receptores generales, pero combinados de forma que permite distinguir entre diferentes formas de contacto, desde caricias leves hasta vibraciones y sensaciones dolorosas:

- ✓ Los nociceptores hacen posible que percibas el dolor, como cuando te pillas el dedo con una puerta.
- ✓ Los mecanorreceptores permiten que notes la presión y contactos suaves, por ejemplo un abrazo, un apretón de manos o una caricia.
- ✓ Los termorreceptores permiten percibir la temperatura, por ejemplo el calor de un día de verano.

Estos tres tipos de receptores generales están diseminados por toda la superficie de la piel, pero no de forma homogénea. En primer lugar, algunos tipos de receptores son más abundantes que otros (tenemos más receptores para el dolor que para la temperatura). En segundo lugar, en algunas zonas de la piel hay más receptores que en otras. Por ejemplo: hay más receptores en la piel que recubre las puntas de los dedos que en la piel de la espalda.

Cuando los receptores generales se activan, generan un impulso que viaja a la médula espinal y luego sube hasta el cerebro.

Tras la pista de los impulsos nerviosos

Los impulsos nerviosos atraviesan una neurona en apenas siete milisegundos, ¡más rápido que un rayo! En los apartados siguientes te explicamos cómo pasa un impulso nervioso a través de una neurona y cómo sigue su camino hasta la neurona siguiente.

Viajar de un extremo al otro

Para poder entrar en el cerebro, el impulso nervioso tiene que cruzar primero

una neurona de un lado a otro. Cuando una neurona está inactiva, esperando que llegue un impulso nervioso, la diferencia de potencial eléctrico entre ambos lados de la membrana celular se denomina *potencial de reposo*. En este estado la neurona se encuentra polarizada, con sodio en el exterior de la membrana y potasio en el interior (una neurona está *polarizada* cuando la carga eléctrica en el exterior de su membrana es positiva y la carga del interior es negativa).



El exterior de una neurona polarizada contiene un exceso de iones sodio (Na^+), mientras que el interior contiene un exceso de iones potasio (K^+). A lo mejor te estás preguntando cómo es posible que la carga del interior de la célula sea negativa si hay iones positivos. La explicación es que el número de iones Na^+ que salen de la célula es mayor que el número de iones K^+ que entran. Por lo tanto, hay más carga positiva en el exterior que en el interior (el interior es negativo en relación con el exterior).

A continuación describimos el proceso que hace que una neurona en reposo envíe un impulso nervioso y luego regrese al estado de reposo (puedes ir siguiendo los pasos en la figura 18-3):

1. La membrana de la neurona es atravesada por iones Na^+ del exterior, que crean un potencial de acción.

Un *potencial de acción* es la onda de actividad eléctrica que representa el impulso nervioso. Cuando un estímulo alcanza una neurona en reposo, los canales iónicos de la membrana celular de esa neurona se abren repentinamente, lo que permite la entrada de los iones Na^+ que estaban en el exterior. Entonces aumenta el número de iones positivos en el interior de la membrana y la neurona se *despolariza* (la carga interior también se vuelve positiva).



Cada neurona tiene un umbral. El *umbral* es el punto en el cual ya no hay vuelta atrás. Cuando el estímulo supera ese umbral, se abren

más canales iónicos y entran más iones Na^+ en la célula. Eso causa la despolarización completa de la neurona y crea un potencial de acción. En este estado, la neurona continúa abriendo canales de Na^+ por toda la membrana, lo que da paso a un fenómeno de todo o nada. *Todo o nada* significa que si un estímulo no supera el nivel de umbral y hace que se abran todos los canales, no se crea un potencial de acción; pero cuando se supera el umbral, ya no hay vuelta atrás: la neurona se despolariza por completo y el estímulo se transmite.



Cuando el impulso baja por el axón recubierto por una vaina de mielina, tiene que recorrer los anillos no aislados que hay entre las células de Schwann; esos anillos se llaman *nodos de Ranvier*. Durante el potencial de acción, el impulso experimenta una *conducción saltatoria*, es decir, salta de un nodo de Ranvier al siguiente, lo que incrementa su velocidad de conducción.

2. Los iones K^+ salen al exterior de la membrana y los iones Na^+ permanecen dentro, con lo que la célula se repolariza.

Después de la entrada masiva de iones Na^+ en la neurona, los canales iónicos del interior de la membrana se abren para que los iones K^+ puedan salir. Cuando los iones K^+ cruzan al exterior, la membrana se repolariza y el equilibrio de la célula se restablece (el resultado es una polarización opuesta a la polarización inicial, que consistía en Na^+ en el exterior y K^+ en el interior). Nada más abrirse los canales K^+ , los canales Na^+ se cierran; de lo contrario la membrana no podría repolarizarse.

3. La neurona se hiperpolariza cuando hay más iones K^+ en el exterior que iones Na^+ en el interior.

Cuando los canales K^+ se cierran, el número de iones K^+ en el exterior de la neurona es ligeramente superior al de iones Na^+ que hay en el interior. Esto hace que el potencial de la célula caiga ligeramente por debajo del potencial de reposo; entonces la membrana está hiperpolarizada. De todos modos, ese estado no dura mucho. Después de

que el impulso haya recorrido la neurona, el potencial de acción termina y la membrana celular regresa a la normalidad.

4. La neurona entra en un período refractario, durante el cual los iones K^+ regresan al interior de la célula y los iones Na^+ regresan al exterior.

El período refractario se caracteriza porque los iones Na^+ y K^+ regresan al lado de la membrana donde se encontraban originalmente (es decir, los iones Na^+ fuera y los iones K^+ dentro). Una proteína llamada bomba de sodio-potasio transporta los iones al lado que les corresponde. Entonces la neurona regresa a su estado polarizado normal, en el que permanece hasta que llega otro impulso.

Saltar de una neurona a otra

Los impulsos nerviosos no pueden pasar directamente de una neurona a la siguiente porque las neuronas no se tocan. Entre el axón de una neurona y las dendritas de la siguiente hay una pequeña separación. Por lo tanto, los impulsos nerviosos tienen que saltar esa distancia para continuar su camino por el sistema nervioso.



La separación entre dos neuronas se llama *hendidura sináptica* o *sinapsis*.

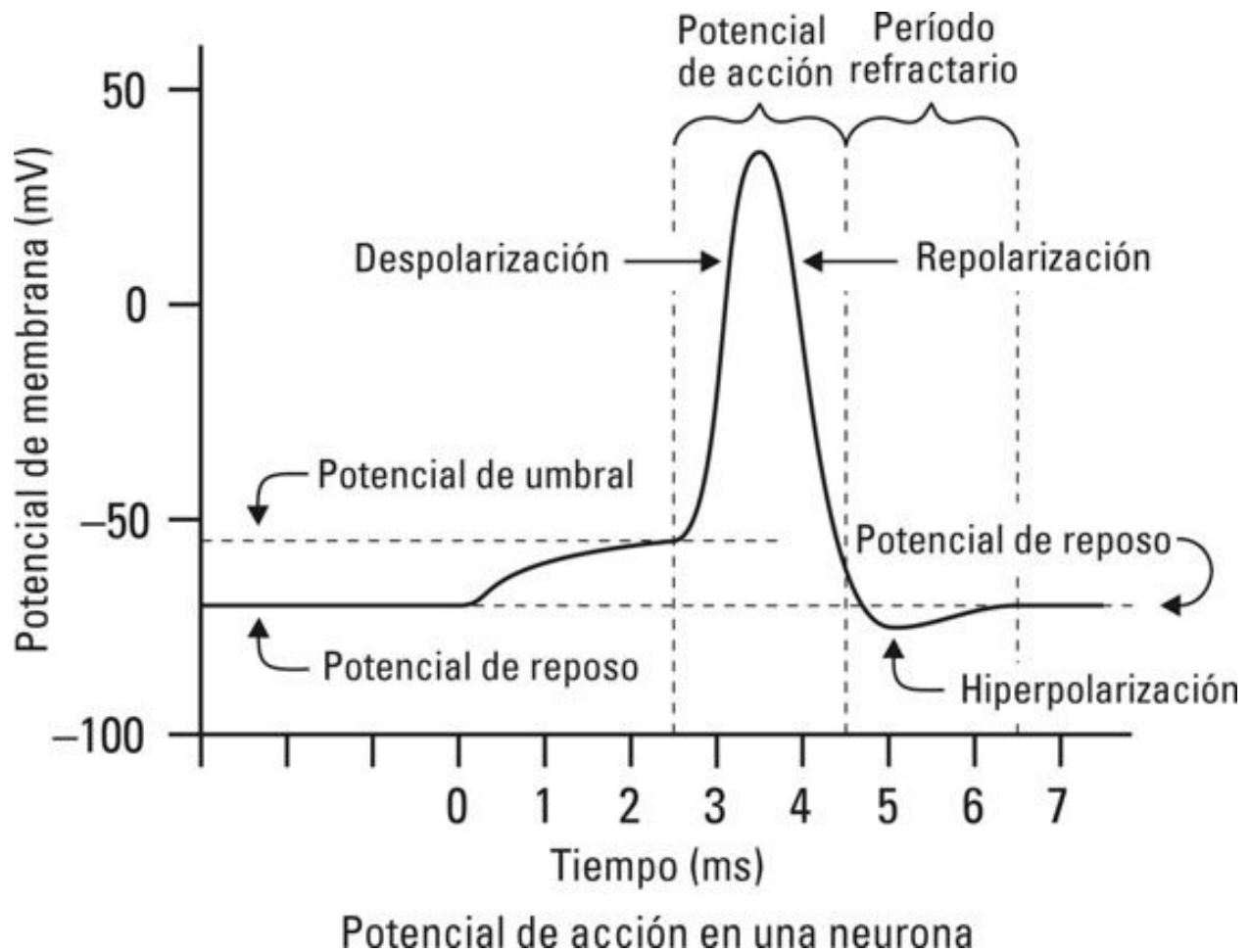


Figura 18-3:
Transmisión de un impulso nervioso.

En muchos animales invertebrados y en los cerebros de los vertebrados, los impulsos cruzan las sinapsis por conducción eléctrica. Sin embargo, fuera del cerebro, como cuando una neurona envía una señal a una célula muscular, los impulsos nerviosos atraviesan las sinapsis gracias a los cambios químicos que se describen a continuación:

- 1. Se abren los canales de calcio.**

Al final del axón de la célula que envía el impulso (llamada *célula presináptica* o *emisora*), la membrana se despolariza, lo que permite que se abran los canales iónicos para que entren iones calcio (Ca^{2+}).

- 2. Las vesículas sinápticas liberan un neurotransmisor.**

Cuando los iones Ca^{2+} llegan al extremo del axón presináptico, las vesículas sinápticas se fusionan con la membrana presináptica y entonces liberan una sustancia química llamada *neurotransmisor*.

3. El neurotransmisor se fija a los receptores que hay en la neurona postsináptica.

La sustancia química que actúa como neurotransmisor se difunde a través de la sinapsis y se une a las proteínas presentes en la membrana de la neurona que está a punto de recibir el impulso. Estas proteínas actúan como receptores, de forma que diferentes proteínas actúan como receptores para diferentes neurotransmisores; es decir, cada neurotransmisor tiene su receptor.

4. La membrana postsináptica se excita o se inhibe.

La sustancia química que haya actuado como neurotransmisor y el resultado ocurrido es lo que determina si el efecto producido es de excitación o de inhibición. Por ejemplo, si el neurotransmisor hace que se abran los canales Na^+ , la membrana de la neurona postsináptica se despolariza, y entonces el impulso atraviesa esa neurona. Si se abren los canales K^+ , en cambio, la membrana de la neurona postsináptica se hiperpolariza y el impulso se frena en seco.



Una vez que el neurotransmisor ha hecho efecto, ya sea de excitación o de inhibición, el receptor lo deja ir y entonces regresa a la sinapsis. En la sinapsis, unas enzimas degradan el neurotransmisor químico en moléculas más pequeñas. A continuación, la célula presináptica recicla el neurotransmisor degradado y envía las sustancias químicas de vuelta a la membrana sináptica para que durante el siguiente impulso, cuando las vesículas sinápticas se fusionen con la membrana sináptica, se pueda liberar de nuevo el neurotransmisor completo.

En la tabla 18-2 figuran algunos neurotransmisores comunes y sus funciones.

Tabla 18-2: Características de neurotransmisores comunes

<i>Neurotransmisor</i>	<i>Origen</i>	<i>Función</i>
Acetilcolina	Se segrega en los espacios interneuronales y en las células musculares.	Estimula o inhibe la contracción de los músculos, según cuál sea el receptor.
Dopamina	Se crea a partir de aminoácidos.	Afecta al movimiento, las emociones y los sentimientos de placer, y desempeña un papel fundamental en las drogadicciones.
Epinefrina	Se crea a partir de aminoácidos.	Responsable de la respuesta de lucha o huida.
Norepinefrina	La segregan los axones posganglionares.	Aumenta la tensión arterial.
Serotonina	Producida por una reacción enzimática en la que interviene el triptófano.	Regula el sueño, calma la ansiedad e influye en el comportamiento sexual.

El sistema endocrino: furia hormonal

El *sistema endocrino* (representado en la figura 18-4) secreta las hormonas en un organismo y regula su producción según las necesidades y la actividad de los procesos celulares.

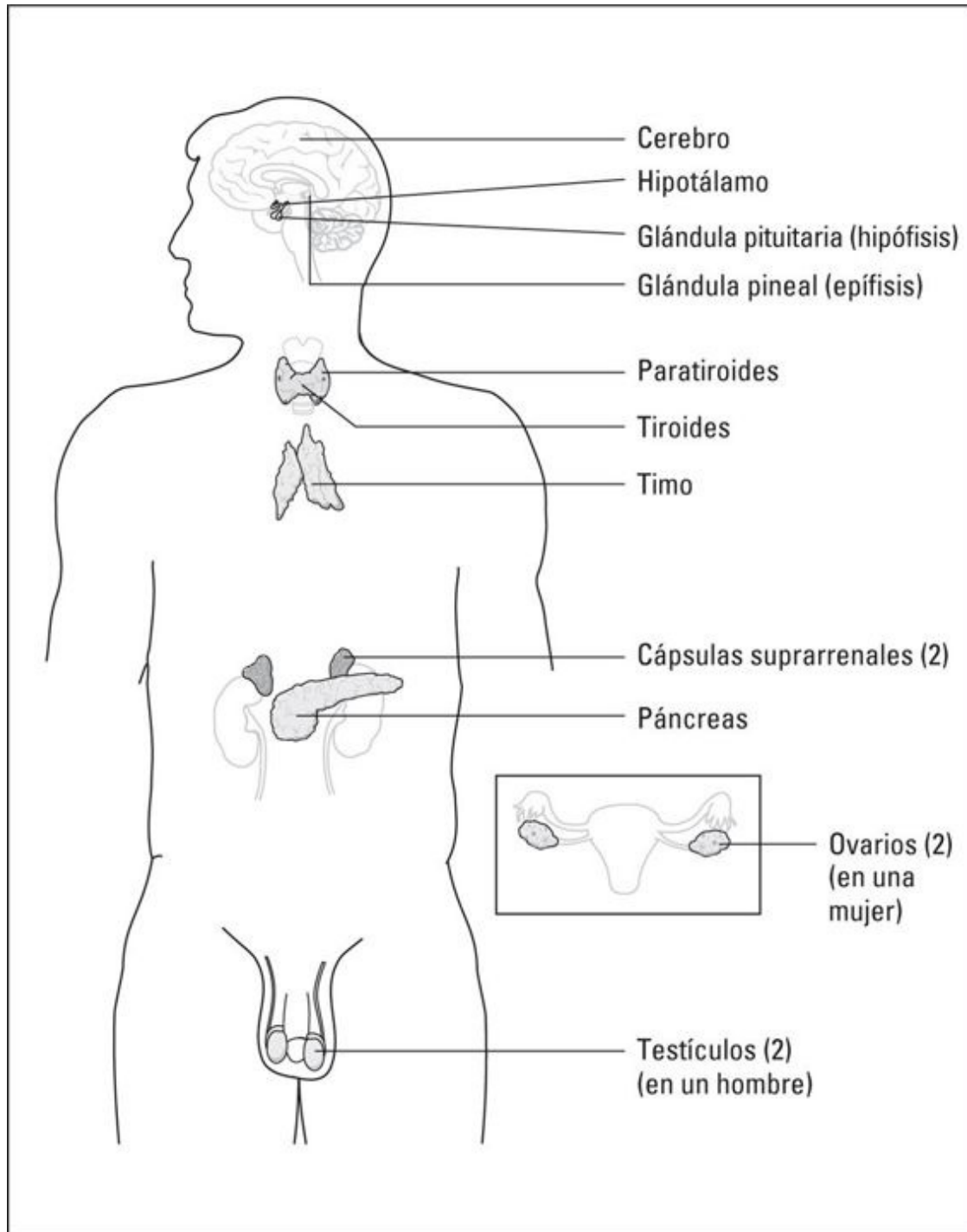


Imagen tomada de LifeART®, Super Anatomy 1, © 2002, Lippincott Williams & Wilkins

Figura 18-4:
El sistema endocrino.



El sistema endocrino está formado por las *glándulas endocrinas*, órganos que producen *hormonas*; estas actúan como mensajeros químicos que coordinan las actividades de células concretas en determinadas zonas del cuerpo. Las hormonas viajan por el torrente sanguíneo hasta el tejido que se haya elegido como objetivo, donde deben ser absorbidas para que surtan efecto.



La palabra *endocrino* proviene de una raíz griega que significa *endo*, ‘dentro’. Las glándulas endocrinas vierten sus productos al torrente sanguíneo, con lo que permanecen dentro del organismo. En cambio, las *glándulas exocrinas* segregan productos que van a parar fuera del organismo. El sudor y la saliva, por ejemplo, son secreciones de las glándulas exocrinas. En los siguientes apartados te explicamos cómo actúan las hormonas y te damos a conocer algunas tareas importantes que desempeñan.

Mecanismos de acción hormonal

Las hormonas son mensajeros de larga distancia: transportan un mensaje por el torrente sanguíneo hasta llegar a las *células objetivo* (las que responden a esa hormona). Para que una célula responda a una hormona en concreto, debe tener *receptores* (moléculas que se unen a moléculas señalizadoras, como las hormonas, y provocan cambios en el comportamiento de las células) para esa hormona (las células que carecen de receptores para una hormona en particular no responden a ella). Cuando la hormona se fija al receptor de las células objetivo, dicho receptor se activa y provoca un cambio en el comportamiento de la célula.



Las hormonas de los vertebrados se dividen en dos grandes grupos:

- ✓ Las **hormonas peptídicas**, por ejemplo la insulina, son cadenas cortas de aminoácidos. Puedes imaginarlas como proteínas muy pequeñas. Estas hormonas son *hidrófilas* (les gusta el agua), de manera que no atraviesan fácilmente las membranas celulares.

Los receptores de hormonas peptídicas están insertados en las membranas plasmáticas de las células objetivo. Las hormonas peptídicas se fijan a sus receptores en la superficie celular, los activan y provocan un cambio en la parte del receptor que se prolonga hacia el interior de la célula. La parte interna del receptor interacciona con moléculas del interior de la célula y provoca cambios. Como el mensaje de la hormona atraviesa la membrana plasmática, este proceso de transmisión se llama *transducción de señal*.

- ✓ Las **hormonas esteroideas**, por ejemplo la testosterona y el estrógeno, son lípidos, de manera que sus moléculas son hidrófobas (no les gusta el agua) y atraviesan fácilmente la capa hidrofóbica de la membrana plasmática para entrar en las células. Así pues, los receptores de las hormonas esteroideas se encuentran en el interior de la célula.

Cuando están dentro de la célula, las hormonas esteroideas atraviesan el citoplasma y se difunden al interior del núcleo; en él se fijan a las proteínas receptoras y forman un complejo activado. El complejo hormona-receptor activado provoca cambios en la célula; por ejemplo, hace que se active la transcripción de determinados genes. Después de que esos genes hayan sido transcritos y traducidos, las proteínas recién formadas llevan a cabo la función que representa la respuesta de la célula a la hormona (en el capítulo 8 explicamos la transcripción y la traducción de proteínas).

Funciones generales de las hormonas

Las hormonas realizan varias tareas importantes, tanto en los vegetales como en animales vertebrados e invertebrados. A continuación señalamos unos pocos ejemplos de las muchas funciones que llevan a cabo las hormonas en un organismo:

- ✓ **Controlan el crecimiento del organismo.** En los seres humanos, la glándula pituitaria debe segregar una cantidad normal de hormona del crecimiento durante la infancia y la adolescencia. Las consecuencias de producir demasiada hormona del crecimiento o muy poca son obvias: gigantes o enanos, respectivamente. En los animales invertebrados, por ejemplo en los insectos, las hormonas del crecimiento son las responsables de las *mudas*, cuando cambian la capa exterior (el exoesqueleto). Las hormonas también regulan el crecimiento de las plantas, como puedes ver en el capítulo 21.
- ✓ **Dirigen el desarrollo y la maduración.** En los insectos, la *metamorfosis* (la transformación de la forma corporal durante el desarrollo) está controlada por la hormona de la muda (la metamorfosis es el proceso que transforma una larva de mariposa en crisálida y luego en mariposa). En los vertebrados, las hormonas activan la transición de la forma juvenil a la forma adulta y marcan el inicio de la madurez sexual. Las hormonas vegetales regulan las etapas del desarrollo como, por ejemplo, la salida y la caída de las hojas, la madurez de los órganos sexuales y la floración.
- ✓ **Controlan los mecanismos de maduración sexual.** En el caso de los seres humanos, la reproducción puede tener lugar en cualquier momento del año (en el capítulo 19 profundizamos sobre el tema de la reproducción humana); no obstante, la mujer tiene solo algunos días fértiles cada mes, y esos periodos están regulados por hormonas. Para otros animales y para las plantas, la reproducción debe ocurrir en determinadas épocas del año, cuando el clima y la disponibilidad de alimentos son óptimos, y son las hormonas las que estimulan la maduración de los órganos reproductores y el instinto de apareamiento únicamente cuando el clima es favorable y hay suficiente comida.

Los animales tienen muchísimas hormonas. En la tabla 18-3 encontrarás algunas de las que se encuentran en los mamíferos, junto con las glándulas que las producen y sus principales funciones.

Tabla 18-3: Algunas hormonas importantes de los mamíferos

Hormona	Glándula	Función
Adrenalina (epinefrina)	Cápsulas suprarrenales	Acelera el metabolismo, aumenta la glucemia (concentración de glucosa en sangre) y provoca la contracción de algunos vasos sanguíneos.
Aldosterona (mineralocorticoides)	Cápsulas suprarrenales	Hace que los riñones reabsorban sodio y liberen potasio, por lo que regula el equilibrio hidrosalino en el organismo.
Vasopresina	Glándula pituitaria	Hace que los riñones retengan agua.
Estrógeno	Ovarios	Estimula el crecimiento del endometrio; activa y mantiene los caracteres sexuales secundarios en las hembras.
Folículoestimulante (FSH)	Glándula pituitaria	Estimula la maduración de los óvulos y la producción de espermatozoides.
Glucagón	Páncreas	Aumenta la glucemia.
Hormona del crecimiento	Glándula pituitaria	Estimula el crecimiento de los huesos; mejora las funciones metabólicas.
Insulina	Páncreas	Reduce la glucemia.
Luteinizante (LH)	Glándula pituitaria	Estimula los ovarios y los testículos.
Melatonina	Glándula pineal	Regula los ciclos de sueño y vigilia.
Oxitocina	Glándula pituitaria	Provoca contracciones en el útero y en las glándulas mamarias (para que salga la leche).
Progesterona	Ovarios	Favorece el crecimiento del endometrio.
Prolactina	Glándula pituitaria	Estimula la producción de leche.
Testosterona	Testículos	Estimula la formación de espermatozoides; activa y mantiene los caracteres sexuales secundarios en los machos.
Tirotropina	Glándula pituitaria	Estimula la tiroides.
Tiroxina (T ₄)	Tiroides	Estimula el metabolismo y lo mantiene.

Capítulo 19

El sistema reproductor: más y más animales

En este capítulo

- ▶ Conocer el proceso de la reproducción asexual en animales
 - ▶ Examinar con detenimiento la reproducción sexual
 - ▶ Ver cómo lo hacen los pájaros y las abejas (y otros animales)
 - ▶ Descubrir por qué una célula sabe dónde ir y qué hacer
 - ▶ Explorar las complejidades del desarrollo y el envejecimiento
-

En este capítulo te contamos con pelos y señales de dónde vienen los niños y te explicamos los intríngulis de la reproducción animal (la reproducción de las plantas es el tema del capítulo 20). Prepárate para descubrir lo que ocurre en el cuerpo de una mujer cuando se prepara para la reproducción, cómo se aparean los diferentes animales (entre ellos los humanos), cómo se desarrollan sus descendientes antes de nacer y cómo se determina el sexo en las personas.

Reproducción asexual: de tal palo, tal astilla

La reproducción asexual permite que los organismos se reproduzcan rápidamente y sin necesidad de una pareja. En cierto modo, los organismos

asexuales no mueren nunca; solo crean nuevas versiones de sí mismos y siguen adelante.



El proceso celular básico que hace posible la reproducción asexual es la *mitosis*, el tipo de división celular que produce copias exactas de las células progenitoras (más información en el capítulo 6).

La reproducción asexual tiene lugar de diferentes formas en diferentes animales (muchos de los cuales pueden tener también reproducción sexual):

- ✓ La **gemación** consiste en la aparición en el organismo original de un abultamiento llamado *yema*, que va creciendo hasta que se separa y origina un nuevo individuo. Unas pocas especies de invertebrados, entre ellos la hidra de agua dulce, se reproducen mediante gemación.
- ✓ La **bipartición** ocurre cuando el organismo original aumenta y se divide en dos. Las anémonas de mar, o actinias, son un ejemplo de animal que se reproduce asexualmente por bipartición.
- ✓ La **fragmentación** es el mecanismo por el que el organismo original se divide en varios fragmentos pequeños, que luego dan lugar a individuos completos. Las estrellas de mar, por ejemplo, utilizan la fragmentación para reproducirse.



Para los organismos que se encuentran muy separados de otros de su misma especie y para los que se han adaptado bien a un determinado medio, la reproducción asexual supone una gran ventaja. Sin embargo, las ventajas de la reproducción asexual (el hecho de que no permite cambios) también supone una desventaja. Si se propaga una enfermedad o se produce un cambio en el medio y todos los organismos son idénticos, todos se verán afectados en la misma medida; y si la enfermedad es muy agresiva, morirán todos los individuos. Si fueran los únicos organismos de su especie, entonces toda la especie desaparecería en un abrir y cerrar

de ojos. En cambio, si los individuos de una población presentan algunas diferencias entre ellos aumenta mucho la probabilidad de que la especie sobreviva a los cambios del entorno.

Los entresijos de la reproducción sexual

En la reproducción asexual solo interviene un organismo (que al dividirse da lugar a organismos completos), mientras que la reproducción sexual comienza a escala celular y requiere la intervención de dos progenitores. Los nuevos organismos que resultan de la reproducción sexual se desarrollan y crecen con el paso del tiempo.

En los animales, la reproducción sexual comienza con un óvulo y un espermatozoide, cada uno de los cuales es una célula única. Tras la cópula, las dos células se combinan y producen un organismo totalmente nuevo que formará o bien óvulos o bien espermatozoides. Por lo tanto, ese nuevo organismo puede continuar el ciclo de la vida y aportar su material genético a la siguiente generación de la especie.

En los siguientes apartados explicamos los pormenores de la reproducción sexual, desde las células y los rituales de apareamiento que la hacen posible hasta el modo en que los seres humanos crean una nueva vida (nos centramos más en los seres humanos que en otras especies, ya que, obviamente, es lo que resulta más aplicable a tu caso particular).

Vida y milagros de los gametos

Los *gametos* son las células sexuales de los organismos que se reproducen por vía sexual. Existen dos tipos de gametos: espermatozoides y óvulos. Cada espermatozoide y cada óvulo contienen la mitad de los cromosomas que tiene el organismo, de manera que cuando se unen un espermatozoide y un óvulo, el organismo tiene todos los cromosomas que necesita.

La *gametogénesis* es el proceso de producción de gametos, durante el cual, y

mediante la meiosis, se reduce a la mitad el número de cromosomas de las células (en el capítulo 6 explicamos la meiosis con todo detalle). Las células humanas, por ejemplo, tienen 46 cromosomas, de modo que los gametos humanos tienen solo 23. Todo el proceso de la gametogénesis está controlado por *hormonas*, unas sustancias proteicas que inician, detienen y alteran muchos procesos metabólicos (encontrarás más información al respecto en el capítulo 18). En los apartados siguientes te explicamos cómo funciona exactamente la gametogénesis.

Nota: nuestra explicación se centra en los seres humanos, pero el proceso de la gametogénesis es básicamente el mismo en todos los animales que se reproducen por vía sexual. Las diferencias estriban en cómo los animales se aparean y ponen en contacto el gameto masculino y el femenino.

La espermatogénesis: fabricar nadadores

Los *espermatozoides* son los gametos masculinos y la *espermatogénesis* es el proceso metabólico en el que se producen. A partir de la pubertad, los varones de la especie humana producen cada día millones de espermatozoides, que solo pueden sobrevivir un breve espacio de tiempo en el interior del cuerpo; por eso se producen continuamente.

El proceso de la espermatogénesis comienza en las *espermatogonias*, células que contienen 46 cromosomas. Estas células recubren las paredes de los túbulos seminíferos. Cuando las hormonas de un varón inician la espermatogénesis, las espermatogonias se dividen por mitosis y producen unas células llamadas *espermátocitos de primer orden* que también contienen 46 cromosomas. El resto del proceso es como sigue:

- 1. Cada espermátocito de primer orden se divide por meiosis para producir dos espermátocitos de segundo orden.**

Los *espermátocitos de segundo orden* son células que contienen 23 cromosomas duplicados (hablamos de la duplicación en el capítulo 6).

- 2. Cada espermátocito de segundo orden completa la meiosis y produce cuatro espermátides, cada una de las cuales contiene 23 cromosomas.**

3. Las espermátides maduran para convertirse en espermatozoides.

Para llegar a ser un espermatozoide maduro, la espermátide debe desarrollar una cola, una parte central y una cabeza. La cola es un flagelo que permite que el espermatozoide avance por los líquidos corporales, o sea, nadar. La parte central contiene muchas mitocondrias, encargadas de suministrar energía a la cola para que se mueva, y la cabeza contiene los 23 cromosomas de la célula en el interior de su núcleo.

La ovogenia: fabricar óvulos

La *ovogénesis* es el proceso por el que en las hembras se producen *óvulos*, que son los gametos femeninos. Cada mujer nace con todos los óvulos que va a tener durante toda su vida (lo que significa que la ovogénesis tiene lugar durante el desarrollo fetal). Esos óvulos permanecen inactivos hasta la pubertad, cuando las hormonas femeninas ponen en marcha el ciclo menstrual (que se repite cada mes hasta el comienzo de la menopausia).

El proceso de la ovogénesis comienza en unas células llamadas *ovogonias* que contienen los 46 cromosomas humanos. Estas células crecen y maduran para convertirse en *ovocitos de primer orden*. El resto del proceso es como sigue:

- 1. Los ovocitos de primer orden empiezan a dividirse por meiosis, pero se detienen en la primera mitad del proceso.**

La meiosis permanece pausada hasta que la mujer llega a la pubertad.

- 2. Cuando las hormonas del desarrollo sexual empiezan a inundar los ovarios de la mujer durante la pubertad, se activa el ciclo menstrual, comienza la ovulación y se reanuda la meiosis en los ovocitos de primer orden.**

La *ovulación*, la liberación de un óvulo maduro desde un ovario, tiene lugar en el punto medio del ciclo menstrual. Como preparación para una posible *fecundación* (la unión de óvulo y espermatozoide), los ovocitos de primer orden prosiguen con la meiosis y completan la primera división meiótica; así se forman dos células diferentes: un *ovocito de segundo orden* (también llamado *célula hija*), que recibe la mayor parte

del citoplasma (y por eso es grande), y el *primer corpúsculo polar*, que contiene muy poco citoplasma (y por eso es muy pequeño). Tanto el ovocito de segundo orden como el corpúsculo polar contienen 23 cromosomas duplicados.

3. El ovocito de segundo orden y el primer corpúsculo polar completan la segunda división meiótica.

El ovocito de segundo orden experimenta otra división desigual del citoplasma, de la que resulta un óvulo grande y un segundo corpúsculo polar más pequeño. El primer corpúsculo polar se divide en dos corpúsculos polares iguales. El óvulo y los tres corpúsculos polares contienen 23 cromosomas cada uno.

La división del citoplasma, llamada *citocinesis*, es desigual: el óvulo recibe la mayor parte del citoplasma, para que disponga de muchos nutrientes y de los orgánulos necesarios para el desarrollo del embrión. La meiosis de la ovogonia original produce un único óvulo funcional en cada ciclo menstrual. Los tres corpúsculos polares también producidos se deshacen.



En las mujeres, la división meiótica interrumpida en el ovocito puede permanecer pausada ;durante más de cuarenta años! Desde antes de que la mujer nazca hasta el momento en que deja de ovular debido a la menopausia, los ovocitos están *congelados en el tiempo*, esperando para convertirse en un óvulo y ser fecundados. De los miles de ovocitos con los que nace una mujer, tan solo alrededor de 500 acaban convirtiéndose en óvulos a lo largo de su vida.

Rituales de apareamiento y otros preparativos para el gran momento

Los seres humanos pueden copular siempre que quieran. El apareamiento en la mayoría de los animales, en cambio, tiene pautas temporales rígidas.

Imagina por un momento que eres una ostra hembra que vive en el océano. Cada temporada de puesta lanzas a la corriente 60 millones de huevos (no, no

estamos exagerando). Con semejante cantidad de huevos, el proceso de apareamiento depende del azar. No puedes hacer otra cosa que esperar que uno de tus huevos se tropiece con un espermatozoide de una ostra macho para que pueda ser fecundado. El hecho de que la continuidad de la especie esté en manos del azar es una de las razones de que las ostras pongan tantísimos huevos. Obviamente, la mayoría de esos huevos no llegan nunca a encontrarse con un príncipe azul; si lo hicieran, los océanos estarían llenos de ostras y no serían tan caras. Pero ¿qué pasa si pones todos esos huevos solo porque te apetece, pero las ostras macho de la zona no están por la labor y no liberan espermatozoides? Pues que te quedarías sola en tu concha y sin descendencia. La cosa funciona porque las ostras macho liberan los espermatozoides al mismo tiempo que las hembras hacen lo propio con sus óvulos. El hecho de que los animales tengan ciclos reproductivos y épocas de apareamiento concretas garantiza que la reproducción sea posible.

En los siguientes apartados te explicamos cómo deciden los animales que ha llegado el momento de empezar a buscar un compañero o compañera y cómo hacen para atraerlo. Asimismo, te contamos con detalle cómo son los ciclos reproductivos humanos, fundamentales para la supervivencia de nuestra especie.

Sincronizarse en la época de apareamiento

Para que la reproducción sexual tenga éxito, los animales de la misma especie deben estar sincronizados. Dicho de otro modo: deben intentar aparearse al mismo tiempo.

La mayoría de las especies se aparean cuando las condiciones son óptimas. Generalmente es la época del año en la que los descendientes tienen mayor probabilidad de sobrevivir. Por ejemplo, los ciervos tienen un *período de gestación* (el tiempo que pasa el feto desarrollándose dentro de la madre) de cinco o seis meses aproximadamente. El mejor momento para que nazca un *cervato* (una cría de ciervo) es en primavera, porque hay mucha comida, la temperatura es un poco más cálida, los árboles están llenos de hojas y los arbustos proporcionan un buen abrigo. Además, al nacer en primavera, el cervato dispone de más tiempo para desarrollarse antes de que llegue el invierno y las condiciones climáticas empeoren. Por lo tanto, si

contamos seis meses hacia atrás desde la primavera, vemos que la época de apareamiento de los ciervos es en octubre o noviembre. Y es precisamente en esos meses cuando los machos compiten entre ellos por las hembras. El macho más fuerte, el que se supone que tiene los mejores genes, es el que logra aparearse y transmitir su material genético para que la especie continúe. En otros casos el apareamiento se activa por una señal ambiental. Por ejemplo, los animales invertebrados acuáticos que viven en charcas o lagunas de zonas áridas solo se reproducen cuando llueve, es decir, cuando las escasas precipitaciones desérticas forman una charca temporal. Mientras eso no ocurra los animales permanecerán en *diapausa*, un estado fisiológico de inactividad. En diapausa el metabolismo del animal es muy lento, de manera que el calor extremo y la sequedad del ambiente no le afectan. Cuando por fin llueve, los animales se activan inmediatamente, se reproducen a marchas forzadas y tienen descendientes que se desarrollan lo más rápido que pueden, antes de que la charca vuelva a secarse. Luego, la nueva generación entra en diapausa hasta que en el cielo vuelven a formarse nubes de tormenta.

Atraer a una pareja

Los pájaros y las abejas se reproducen sexualmente, pero no se enamoran. No les preocupa si su pareja les será fiel o si atenderá sus necesidades personales. Las abejas crean más abejas, sin más, sin motivo ni intención.



Aunque el amor no sea un requisito para la reproducción sexual, la atracción sí lo es. Los animales generalmente utilizan una de las dos estrategias siguientes para atraer a una pareja sexual:

- ✓ **Rituales de apareamiento.** Los *rituales de apareamiento* son conductas que utilizan los animales para atraer a una pareja. Durante estos rituales, los animales (generalmente machos) *alardean* de sus cualidades para demostrar que serían buenas parejas sexuales. Un macho puede luchar contra otros para dejar claro que es el más fuerte; otro puede mostrar que controla el acceso a muchos recursos, por ejemplo aportando alimento o un lugar de nidificación. Pongamos por

caso las palomas. En época de apareamiento, los machos arrullan a las hembras con la esperanza de conquistarlas, pero antes de aparearse construyen un hogar (¿te resulta familiar?). El macho y la hembra eligen juntos un lugar para el nido y a continuación lo construyen. Mientras lo están construyendo, se toman un descanso y *copulan* (es la manera científica de decir que realizan el acto sexual). Poco días más tarde, la hembra pone dos huevos en el nuevo nido, y cuando nacen los polluelos ambos progenitores se encargan de alimentarlos. Cuando los polluelos tienen edad suficiente para empezar a alimentarse solos (al cabo de dos o tres semanas aproximadamente), los adultos repiten el ciclo reproductivo y el cortejo se repite.

- ✓ **Caracteres sexuales secundarios.** Se desarrollan a medida que el animal madura y son mucho menos obvios que los *caracteres sexuales primarios*, que son los órganos genitales y reproductores del macho y de la hembra. En los humanos, los caracteres sexuales secundarios masculinos son el vello facial, el tono más grave de la voz y el incremento de la masa muscular; en las hembras humanas son el incremento de la grasa corporal y el desarrollo de los senos. A los ciervos machos les crecen las astas, a los leones machos les crece la melena y a los pavos reales machos se les desarrolla un abanico de plumas multicolor en la cola.

Los ciclos reproductivos de los seres humanos

Aunque los seres humanos podemos reproducirnos en cualquier momento del año, también tenemos ciclos reproductivos. Un espermatozoide puede fecundar un óvulo cualquier día de la semana, pero los óvulos únicamente pueden ser fecundados unos pocos días de cada mes. Así pues, la reproducción sexual humana está controlada por el *ciclo ovárico* (el desarrollo del óvulo en el ovario) y por el *ciclo menstrual* (la serie de cambios periódicos asociados a la menstruación), ambos controlados por hormonas (en el capítulo 18 encontrarás más información sobre las hormonas).

Tal y como vimos anteriormente en el apartado “La ovogénesis: fabricar óvulos”, el ovocito tiene que completar la meiosis y madurar antes de que, ya convertido en óvulo, sea liberado por el ovario. Lo creas o no, este proceso

está gobernado por algunos órganos que forman parte del sistema nervioso y que están en el encéfalo.

El hipotálamo, una glándula situada en la parte inferior centro del cerebro, recibe información sobre la cantidad de estrógeno y progesterona que hay en la sangre. Cuando baja la concentración de ambas hormonas, el hipotálamo segrega la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH) que va directa a la glándula pituitaria (localizada al lado del hipotálamo) y estimula una parte para que segregue las hormonas folículoestimulante (FSH) y luteinizante (LH). La FSH y la LH inician el ciclo ovárico reactivando la meiosis y continuando el desarrollo de los folículos (una especie de bolsas de líquido en cuyo interior se encuentran los ovocitos en meiosis suspendida) para que puedan liberar un óvulo. A medida que crecen, los folículos liberan estrógeno. Cuando el hipotálamo detecta que aumenta la concentración de estrógeno en la sangre, produce todavía más cantidad de GnRH, lo cual hace que la glándula pituitaria libere a su vez una gran cantidad de LH hacia la mitad del ciclo ovárico. La LH estimula el folículo ovárico y provoca la liberación del óvulo, es decir, la LH es lo que causa la ovulación. Asimismo, la LH hace que el resto de las células foliculares se transformen en el *corpo lúteo*, una masa de células que segrega estrógeno y progesterona durante el resto del ciclo ovárico (aproximadamente dos semanas más). Con el fin de preparar el organismo para un posible embarazo, estas hormonas estimulan el *endometrio*, que es el tejido que recubre el útero, de manera que los vasos sanguíneos se engrosan y el útero recibe más nutrientes.

A través de la concentración de estrógeno y de progesterona, el hipotálamo es capaz de detectar si el endometrio está preparado para la implantación.

- ✓ **Si ha habido fecundación**, el óvulo fecundado se implanta en el endometrio y entonces comienza el desarrollo del embrión. Ese embrión empieza de inmediato a segregar la hormona llamada gonadotropina coriónica humana (hCG). La presencia de hCG mantiene la producción de estrógeno y progesterona para que los vasos sanguíneos engrosados continúen nutriendo al endometrio. Cuando se forma la *placenta* (un órgano temporal que se forma dentro del útero), el embrión recibe sangre y nutrientes a través del cordón umbilical (este cordón une el embrión a

la placenta, que a su vez está conectada al sistema circulatorio de la madre). Por lo tanto, cuando la placenta se ha formado el embrión disminuye la producción de hCG.



Las pruebas de embarazo detectan la presencia de hCG. Como solo la producen los óvulos fecundados, si una mujer presenta una concentración detectable de hCG es porque en su organismo hay un óvulo fecundado.

- ✓ **Si no hay fecundación**, no se produce hCG y el hipotálamo ordena a la glándula pituitaria que deje de producir FSH y LH. La ausencia de FSH y LH detiene la producción de estrógeno y progesterona, lo cual, a su vez, hace que el endometrio deje de recibir esos nutrientes adicionales. A continuación el endometrio comienza a desintegrarse hasta que finalmente se desprende y es expulsado del organismo en forma de flujo menstrual. El primer día de flujo menstrual es el primer día del ciclo menstrual (representado en la figura 19-1). La disminución de LH también causa la desintegración del cuerpo lúteo, que pone fin al ciclo ovárico.



El ciclo ovárico y el ciclo menstrual tienen lugar de manera simultánea y están sincronizados entre sí por efecto de las hormonas, pero cada ciclo tiene sus propias etapas.

- ✓ El ciclo ovárico comprende el desarrollo del folículo, la secreción de hormonas en el folículo, la ovulación y la formación del cuerpo lúteo. Tiene lugar en el ovario y dura 28 días aproximadamente. Está controlado por las hormonas GnRH, FSH, LH y estrógeno.
- ✓ El ciclo menstrual comprende el engrosamiento del endometrio como preparación para una posible implantación y el desprendimiento del endometrio si no se implanta un embrión. Tiene lugar en el útero, dura unos 28 días y está controlado por la concentración de progesterona y

estrógeno.



Durante la vida de una mujer se fecundan muchos más óvulos de los que ella supone. No todos los óvulos fecundados acaban en un embarazo. Si la concentración de hormonas no es la adecuada desde el principio, puede que el óvulo fecundado no llegue a implantarse o bien se implante pero no segregue suficientes hormonas para mantener el embarazo. Si un embrión no produce bastante hCG, el embarazo se interrumpe (se produce un *aborto espontáneo*, durante el cual el embrión es expulsado). Un flujo menstrual inusualmente abundante que comienza con unos pocos días de retraso suele ser en realidad un aborto espontáneo.

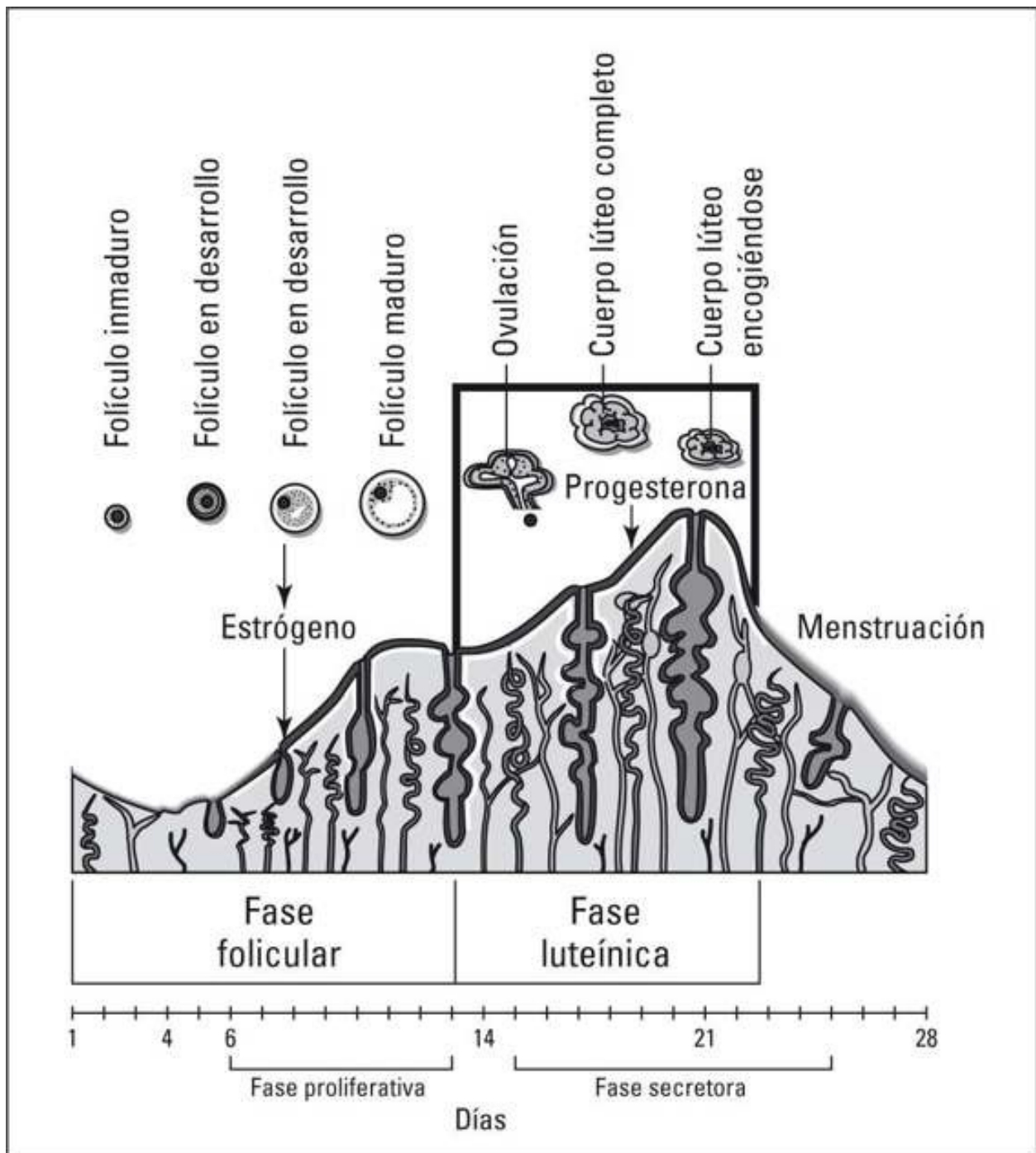


Imagen tomada de LifeART®, Super Anatomy 3, © 2002, Lippincott Williams & Wilkins

Figura 19-1:
El ciclo menstrual.

Después de liberarse el óvulo, el folículo vacío se convierte en una nueva estructura llamada *cuerpo lúteo* (del latín *corpus luteus*, que significa “cuerpo amarillo”). Si se fecunda el óvulo y se implanta en el útero, el cuerpo lúteo se queda para ayudar en las primeras etapas del embarazo. Segrega progesterona durante unas pocas semanas hasta que la placenta está totalmente desarrollada y puede producir esa hormona por sí misma (la progesterona contribuye a que el endometrio reciba mucha sangre y nutrientes para el embrión que está creciendo). A veces el cuerpo lúteo permanece en su sitio durante varios meses, pero en la mayoría de los casos se encoge y termina por disolverse durante el embarazo.

No obstante, alrededor del 10 por ciento de las veces, el cuerpo lúteo permanece en el ovario durante mucho más tiempo del que debería. A veces se queda incluso aunque la mujer no esté embarazada. Cuando eso ocurre, el cuerpo lúteo puede convertirse en un quiste, lo que se llama *quiste de cuerpo lúteo*. Generalmente este quiste en el ovario no supone ningún problema a menos que continúe creciendo, se retuerza sobre sí mismo o se rompa. En esos casos es necesario extirparlo por cirugía.

Cómo se aparean los seres humanos



Lo más importante que debes saber en relación con el apareamiento es que dos miembros de especies diferentes no pueden reproducirse entre sí. Al fin y al cabo, el propósito último de la reproducción sexual es crear una nueva generación que contenga la información genética de las generaciones anteriores. La reproducción sexual entre especies no funciona porque cada especie contiene un número diferente de cromosomas y, además, esos cromosomas contienen genes diferentes. Por ejemplo, los seres humanos tienen 46 cromosomas en cada célula, mientras que los chimpancés tienen 48. Si una persona y un chimpancé se aparearan, las divisiones celulares no serían iguales y la teórica descendencia (no vamos a entrar en esta cuestión) probablemente no sobreviviría.



Por encima de la membrana plasmática del óvulo se encuentra una capa de proteínas que contiene moléculas receptoras cuya única misión es

recibir espermatozoides de la misma especie. En los óvulos humanos, la zona que impide la fecundación por espermatozoides de otras especies se llama *zona pelúcida*. Únicamente los espermatozoides humanos son capaces de descifrar el código que permite acceder al óvulo.

En los siguientes apartados explicamos de dónde vienen los niños (si tus padres no han tenido aún esta conversación contigo, diles que ya pueden respirar tranquilos).

Los aparatos reproductores de los seres humanos

Antes de entrar en detalles, te vendrá bien conocer un poco los sistemas orgánicos que intervienen en la reproducción sexual humana. Como puedes ver en la figura 19-2, el aparato reproductor masculino se compone del pene, los testículos y los túbulos seminíferos. Los espermatozoides se producen en el interior de esos túbulos mediante la espermatogénesis (explicada anteriormente en este mismo capítulo).

El aparato reproductor femenino se compone de la vagina, el útero, los ovarios y las trompas de Falopio (fíjate en la figura 19-3). Los óvulos se forman en los ovarios mediante la ovogénesis (descrita anteriormente en este capítulo).

Coito

A fin de preparar el cuerpo para el *coito* (la introducción del pene en la vagina), hombres y mujeres realizan una serie de actividades que aumentan su *excitación sexual* (sensibilidad a la estimulación sensorial). Cuando un hombre está excitado sexualmente, su pene se pone erecto porque el tejido eréctil del interior se llena de sangre. Esta erección endurece el pene para que pueda permanecer en el interior de la vagina durante el coito. En las mujeres, el órgano sensible se llama *clítoris*. Igual que el pene, tiene tejido eréctil y un glande en la punta. Cuando la mujer se excita sexualmente, el tejido eréctil del clítoris (situado junto al extremo superior de los labios, justo debajo del hueso púbico) se llena de sangre, y el aumento de presión provoca que salgan unas gotas de líquido. Esta lubricación prepara la vagina para que el pene erecto pueda penetrar en ella fácilmente durante el coito.

Cuando el pene está totalmente introducido en la vagina, el extremo está lo más cerca posible del cuello del útero. El *cuello del útero*, o *cérvix*, es el extremo inferior del útero, que conecta con la vagina. Los espermatozoides tienen que atravesar esta parte del cuerpo de la mujer para llegar al útero. Durante el coito, los espermatozoides viajan desde el *epidídimo* (unos tubos en forma de espiral) hasta el *conducto deferente*, que los conduce a la uretra para que puedan ser eyaculados.

Las acciones que tienen lugar durante el coito suelen acabar en la eyaculación masculina.

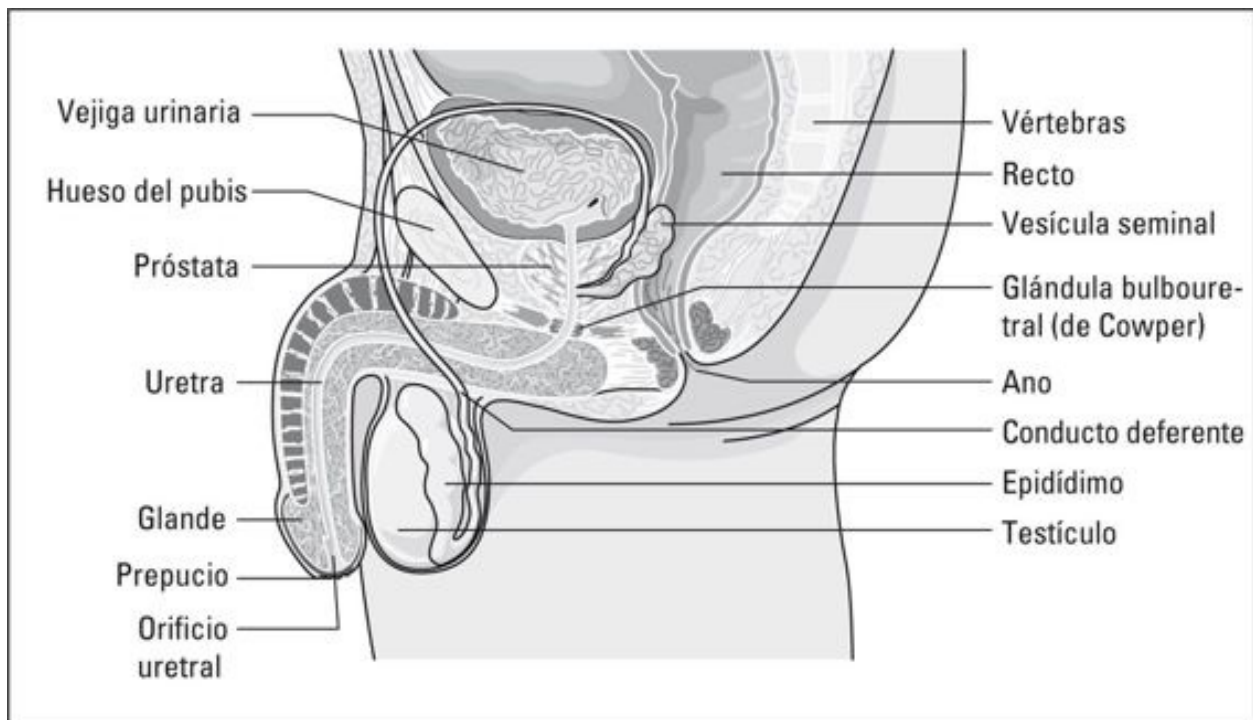


Imagen tomada de LifeART®, Super Anatomy 1, © 2002, Lippincott Williams & Wilkins

Figura 19-2:

El aparato reproductor masculino.

Orgasmo

Lo creas o no, el *orgasmo*, la culminación del placer sexual, cumple una función. Cuando la estimulación sexual del varón se intensifica, los espermatozoides pasan del conducto deferente a la uretra, y las secreciones de

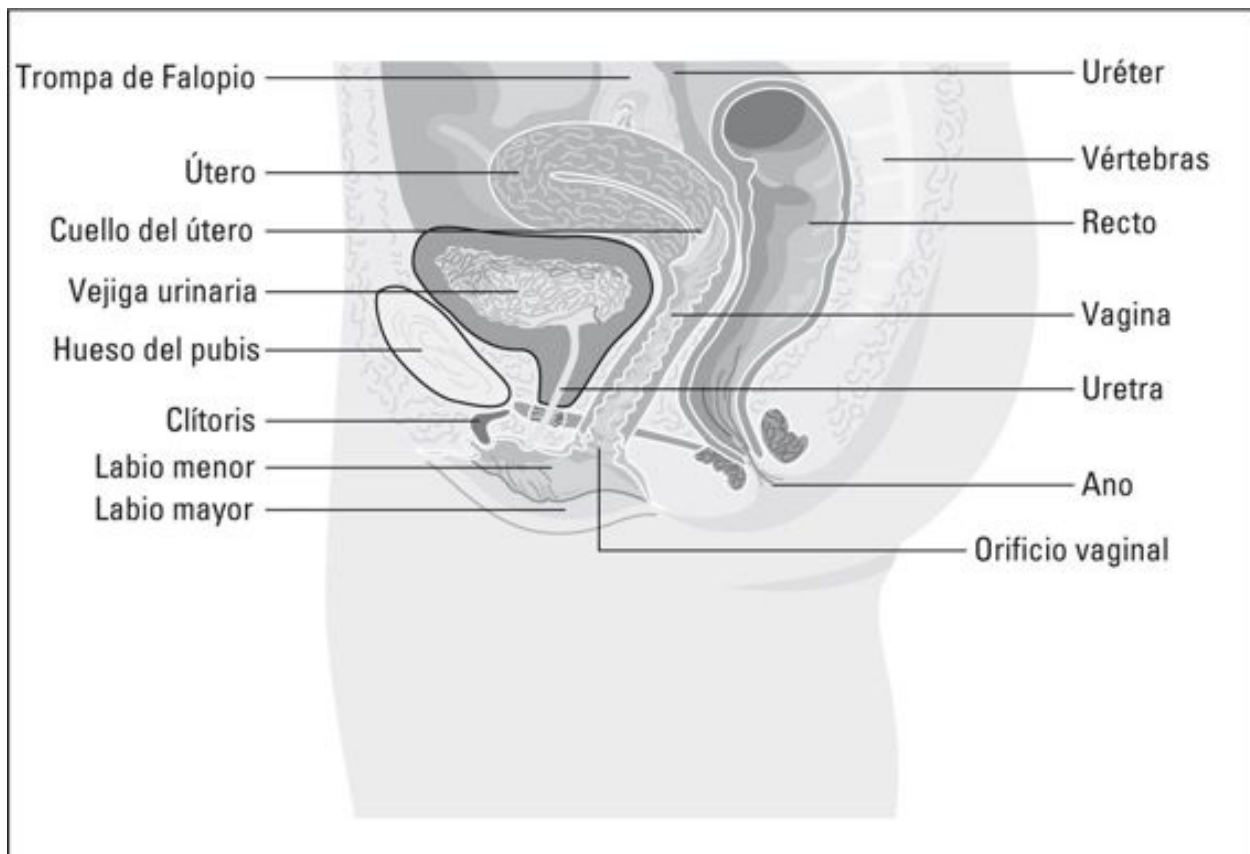


Imagen tomada de LifeART®, Super Anatomy 1, © 2002, Lippincott Williams & Wilkins

Figura 19-3:

El aparato reproductor femenino.

tres glándulas sexuales accesorias (vesículas seminales, próstata y glándula bulbouretral) se juntan y forman el *semen* (líquido seminal), que tiene las siguientes características que favorecen la fecundación:

- ✓ **Contiene fructosa**, un azúcar que le proporciona a los espermatozoides energía para nadar corriente arriba.
- ✓ **Contiene prostaglandinas**, unas hormonas que provocan contracciones del útero y, por tanto, ayudan a impulsar el semen hacia arriba.
- ✓ **Su pH es de 7,5**, un valor relativamente alto, que identifica que el medio es básico, es decir, favorable a los espermatozoides, y también ayuda a neutralizar las condiciones ácidas de la vagina.

El orgasmo ocurre en el punto de máxima estimulación sexual y se manifiesta a través de contracciones musculares y una sensación de liberación muy

placentera. Las contracciones musculares hacen que el semen sea expulsado del pene, lo que se denomina *eyaculación*. La cantidad de semen expulsado en una eyaculación es inferior a una cucharadita, pero contiene más de 400 millones de espermatozoides.



Cuando un hombre tiene un orgasmo, un esfínter cierra la vejiga para que no entre orina en la uretra. Al cortar el paso de la orina, la uretra puede utilizarse exclusivamente para la eyaculación (en los hombres, la uretra está compartida por el aparato urinario y el reproductor, mientras que en las mujeres forma parte solamente del aparato urinario).

En las mujeres, la culminación de la estimulación sexual también provoca contracciones musculares intensas y la misma sensación de liberación. El líquido liberado en el interior de la vagina ayuda a crear un medio acuoso donde pueden nadar los espermatozoides. Las contracciones musculares abren un poco el cuello del útero, lo que permite la entrada de los espermatozoides y ayuda a que suban por las trompas de Falopio.

Fecundación

Después de la eyaculación, los espermatozoides tienen que nadar un buen trecho antes de llegar al óvulo. Desde el lugar donde fueron depositados en el interior de la vagina, tienen que recorrer todo el cuello del útero, luego subir por el útero y finalmente entrar en las trompas de Falopio, donde tiene lugar la *fecundación* (la unión de un espermatozoide y un óvulo).



Puesto que los óvulos humanos no sobreviven más de 24 horas tras la ovulación y los espermatozoides perecen a las 72 horas, para que existan posibilidades de fecundación el coito debe tener lugar en los tres días previos a la ovulación o el mismo día de la ovulación.

Cuando un espermatozoide logra llegar hasta el óvulo, ya solo le queda penetrar en él para aportar sus 23 cromosomas. Sin embargo, los óvulos humanos tienen varias capas de células y una gruesa membrana que los rodea.

Para atravesar esas barreras, los espermatozoides producen enzimas en una estructura próxima a su núcleo llamada *acrosoma*. Las enzimas acrosómicas digieren las capas protectoras del óvulo. De todos modos, los espermatozoides no están totalmente solos en su empeño. Para ayudarlos a entrar, el óvulo experimenta una serie de cambios físicos y bioquímicos. Al unirse un espermatozoide y un óvulo, se forma una célula que contiene los 46 cromosomas de los seres humanos.

Cómo lo hacen otros animales

Obviamente, los seres humanos no son los únicos animales que se aparean y se reproducen sexualmente. Esta forma de reproducción es común a muchos otros animales. La pregunta es: ¿cómo lo hacen?

A continuación te contamos cómo se aparean las aves, las abejas, las lombrices y los erizos de mar, y cómo se forman los cigotos de todas esas especies (el cigoto es el óvulo fecundado que se crea tras la unión de los dos gametos). **Nota:** hemos elegido a estos animales en particular porque sus formas de apareamiento y los procesos de formación de sus cigotos son representativos de las diferentes estrategias de reproducción sexual que encontramos en el reino animal.

- ✓ **Abejas.** La forma de reproducción de las abejas se llama *partenogénesis* (del griego *partenos*, ‘virgen’, y *génesis*, ‘generación, nacimiento’). Durante el vuelo nupcial, la abeja reina se aparea con varios *zánganos* (abejas macho, que no tienen todos los cromosomas sino que son haploides). La reina nunca vuelve a copular con los *zánganos* porque no lo necesita (almacena los espermatozoides en el interior de su cuerpo, de modo que puede controlar el momento de la fecundación). Cuando la reina pone huevos y vierte sobre ellos el esperma, los óvulos se fecundan. Esos óvulos fecundados se convierten en hembras, muchas de ellas abejas obreras (estas abejas nacen diploides pero nunca producen gametos, lo que significa que no pueden reproducirse). Del resto de los óvulos fecundados nacen nuevas reinas. Cuando la reina

pone huevos pero mantiene el esperma en su abdomen y evita la fecundación, los óvulos no fecundados se convierten en zánganos (abejas macho). Las células que hay en los testículos de los zánganos se convierten en gametos que son recibidos por la nueva reina, que técnicamente es una de sus hermanas (si no terminas de entender el significado de *haploide* y *diploide*, lee el capítulo 6).

- ✓ **Aves.** Las aves copulan y el macho deposita el esperma en el interior de la hembra. El óvulo es fecundado, se convierte en huevo y la hembra lo deposita fuera de su cuerpo, así seguirá desarrollándose el embrión. La *yema* del huevo (la parte amarilla) es donde se encuentra el embrión, mientras que el *albumen* (la parte blanca) contiene las sustancias de las que se nutre el embrión durante su desarrollo dentro del huevo.

Justo después de la fecundación, en un punto de la yema se producen una serie de divisiones del cigoto (este proceso se llama *segmentación*). Al acabar, en un lado de la yema se ha formado el *blastodermo*, que es el tejido celular inicial que dará origen a un polluelo; se divide en *epiblasto*, la capa superior, e *hipoblasto*, la inferior. Las células del epiblasto migran al hipoblasto a lo largo de la llamada *línea primitiva* y así se forma el *mesodermo*, a partir del cual se desarrollará el resto del ave.

- ✓ **Lombrices.** Las lombrices son *hermafroditas*, es decir, tienen órganos reproductores masculinos y femeninos (concretamente ovarios, testículos, vesículas seminales, conducto deferente y receptáculos seminales), pero eso no significa que se comporten como hembras y como machos al mismo tiempo. Cuando dos lombrices copulan, se colocan en direcciones opuestas y acoplan los *clitelos*, que son unas bandas externas no segmentadas que segregan moco; este ayuda a que el esperma pase del conducto deferente de una lombriz al receptáculo seminal de la otra. Cuando las lombrices se separan, forman un pequeño capullo en cuyo interior se fecundan los óvulos. Este capullo, protegido por una capa de mucosidad, se deposita en el suelo con los cigotos que darán lugar a las crías de lombriz.

- ✓ **Planarias.** Estos gusanos planos de agua dulce son únicos porque

pueden reproducirse por vía asexual (escindiendo su cuerpo en dos mitades) y por vía sexual. Todas las planarias son hermafroditas. Cuando dos de estos gusanos se reproducen sexualmente, utilizan los órganos masculinos para segregar e intercambiar espermatozoides entre ellos. A continuación, utilizan sus órganos femeninos para crear cigotos. De los cigotos surgen pequeñas planarias que luego maduran para convertirse en adultos.

- ✓ **Erizos de mar.** Vistos desde fuera, el macho y la hembra del erizo de mar son exactamente iguales. Ambos tienen un anillo de poros genitales en el centro del cuerpo. A través de esos poros, los machos liberan espermatozoides y las hembras expulsan huevos. La fecundación se deja al azar, pero se ve facilitada por el hecho de que los erizos viven cerca unos de otros, los huevos presentan un recubrimiento pegajoso al que se adhieren los espermatozoides. Además, la eyaculación de un erizo sirve de señal para que el resto de los machos también eyaculen.

El desarrollo de un ser humano

La reproducción sexual requiere la producción de gametos y también una cópula para que esos gametos se unan y tenga lugar la fecundación. Tras la fecundación, el término *desarrollo* describe el modo en que el óvulo fecundado se convierte en un nuevo organismo que posee una combinación del ADN de sus progenitores.

En los apartados siguientes hablamos sobre el desarrollo de una persona, desde el cigoto hasta el recién nacido. **Nota:** nos centramos en el desarrollo de un ser humano por ser lo más relevante para ti. No obstante, existen muchas similitudes entre el desarrollo de los humanos y el de otros animales.

De una única célula a un blastocisto

Después de que el núcleo de un espermatozoide se funde con el núcleo de un óvulo, la fecundación concluye y la nueva célula diploide pasa a llamarse cigoto.

El cigoto baja por la trompa de Falopio hasta el útero y se implanta en el endometrio. Mientras realiza este trayecto, el cigoto experimenta una serie de divisiones mitóticas rápidas (segmentación) que resultan en un embrión multicelular (es el paso 3 de la figura 19-4). El cigoto se divide en dos células, que luego se convierten en cuatro, luego en ocho y luego en dieciséis. En este estadio el cigoto es una bola de células sólida llamada *mórula*.

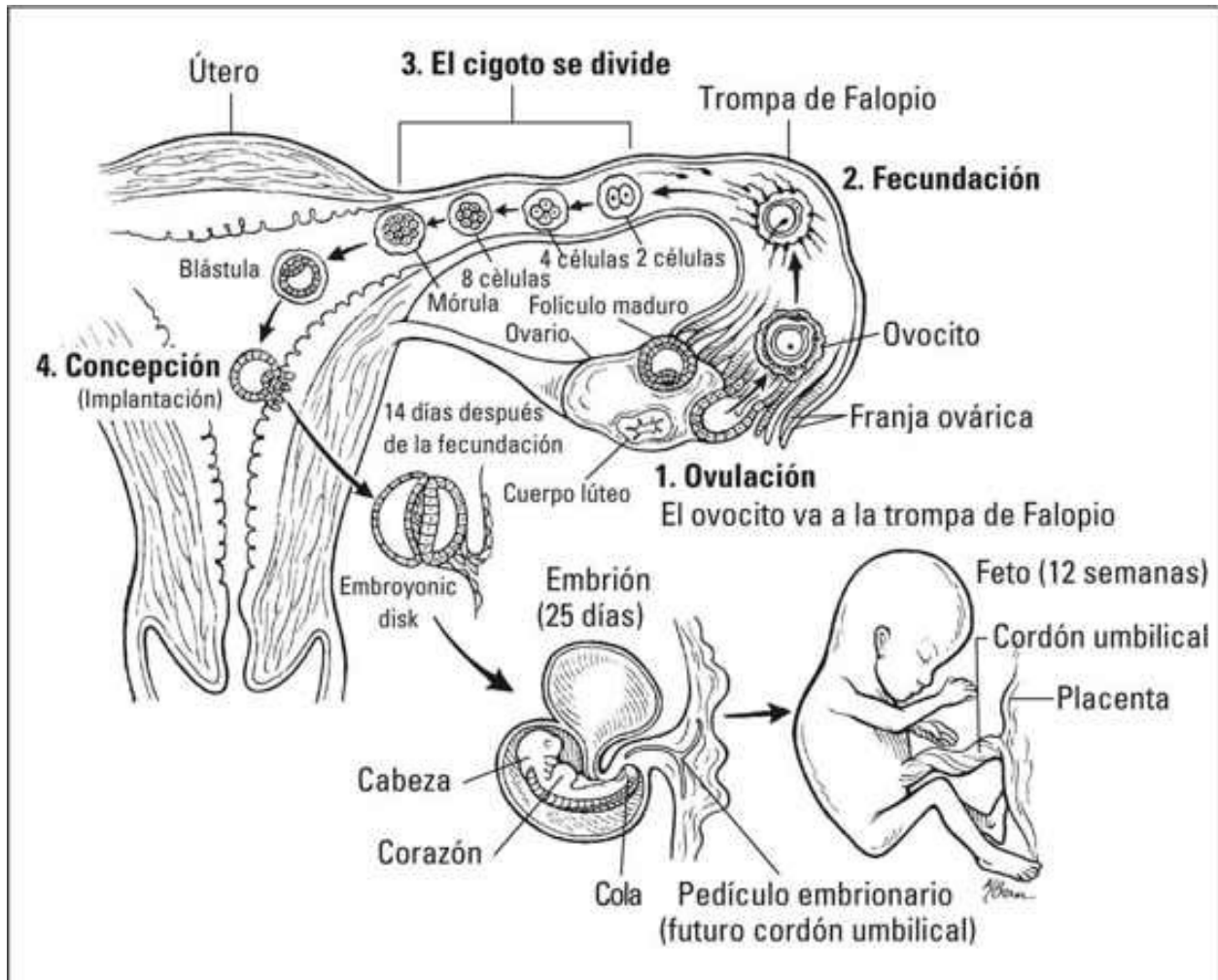


Figura 19-4:
Fecundación, concepción y desarrollo embrionario y fetal de los seres humanos.

La división celular continúa, pero la *mórula* se llena de líquido y las células del interior son empujadas hacia la periferia de la membrana embrionaria, donde se transforma en una bola de células hueca llamada *blástula*. En los seres humanos, un grupo de células del interior de la *blástula* se especializan y

forman el embrión y la blástula se convierte en un *blastocisto*. Las distintas capas de células del blastocisto se especializan, lo cual es el primer paso hacia la formación de los distintos órganos del cuerpo:

- ✓ Las células aplanadas de la capa superficial del blastocisto forman el *trofoblasto*.
- ✓ La cavidad llena de líquido se llama *blastocèle*.
- ✓ La masa celular interna que habrá de convertirse en el embrión se llama *embrioblasto*.

Las células del trofoblasto segregan una enzima que ayuda a degradar el endometrio. Después de abrirse camino, el blastocisto se hunde en la pared uterina y queda implantado. La *concepción* tiene lugar precisamente cuando el blastocisto logra implantarse en la pared uterina (el paso 4 de la figura 19-4). Si el blastocisto no se implanta en la pared del útero, no se produce embarazo. Si hay concepción, las células trofoblásticas del blastocisto forman el *corion*, que luego pasará a formar parte de la placenta.

Después de implantarse, la masa celular en desarrollo se invagina y forma una bola llamada *gástrula* que se compone de tres capas; este proceso se denomina *gastrulación*. Cada una de las capas celulares de la gástrula da origen a un tipo de tejido diferente.

- ✓ La capa exterior de la gástrula, llamada *ectodermo*, forma la piel y el sistema nervioso.
- ✓ La capa intermedia de la gástrula, llamada *mesodermo*, forma el aparato locomotor y el sistema circulatorio.
- ✓ La capa más interior, llamada *endodermo*, forma el revestimiento epitelial del tubo digestivo y las vías respiratorias, además de órganos como el hígado y el páncreas.



Concepción no es lo mismo que fecundación. Un óvulo puede ser fecundado, pero la mujer no está embarazada hasta que el blastocisto se

implanta en la pared uterina, donde se desarrollará.

El embrión diligente

Durante las 12 semanas que, aproximadamente, dura el período embrionario, la actividad es frenética. En ese tiempo, que es, más o menos, el primer trimestre de embarazo, es cuando se forman todos los órganos del cuerpo.

Después de la gastrulación, las células especializadas del ectodermo, mesodermo y endodermo empiezan a migrar hacia otras células de su misma especialidad. Esta migración celular se denomina *morfogénesis*, porque da forma al embrión (*morfo* es una raíz griega que significa forma o estructura).



Fuera del embrión se desarrollan membranas especializadas. El corion se combina con tejidos creados por la madre y da lugar a la *placenta*, un órgano con muchos vasos sanguíneos, que proporciona una superficie de gran tamaño para el intercambio de gases, nutrientes y sustancias de desecho.

En la cavidad central del blastocisto se forma el *alantoides*, una estructura tubular que en los seres humanos termina por convertirse en el pedículo embrionario y luego en el cordón umbilical; este conecta el feto a la placenta (ambos representados en la figura 19-4).

La cavidad amniótica está rodeada por el *amnios*, que es una membrana. En su interior se encuentra el *líquido amniótico* que protege al embrión en desarrollo. El líquido amniótico amortigua los movimientos de la madre y evita que el organismo en desarrollo reciba golpes. También se cree que contiene un agente tensioactivo, una sustancia que recubre las superficies internas de los pulmones del feto y hace que los tejidos pulmonares no se adhieran entre sí en el momento del alumbramiento, lo que impediría que el recién nacido pudiera respirar.



El material genético de las células del líquido amniótico es idéntico al del embrión; y por eso los médicos utilizan la *amniocentesis* (un procedimiento mediante el cual se extrae una pequeña cantidad de líquido amniótico con una aguja para realizar una prueba genética) cuando necesitan determinar si el embrión tiene algún defecto genético.

Durante el período de desarrollo embrionario también se forman el resto de las estructuras y de los sistemas orgánicos. Así, por ejemplo, las células que se separan del tubo neural y forman la cresta neural luego dan origen a los dientes, los huesos, los pigmentos cutáneos y los músculos de la cabeza. Al término del período embrionario, el embrión humano mide aproximadamente cuatro centímetros y ya empieza a parecerse menos a un lagarto y más a una persona.

Desarrollo fetal y nacimiento

En los seres humanos, el período fetal comprende los últimos seis meses del embarazo, es decir, el segundo y tercer trimestre. Los fetos están completamente diferenciados, lo que significa que sus células han migrado y han empezado a formar sistemas orgánicos. En el interior del útero, el feto no hace otra cosa que continuar creciendo y desarrollar características como pelos y uñas. A medida que el feto se hace más fuerte, más grande y más pesado, se va pareciendo más a un bebé.

Las prostaglandinas y la oxitocina hacen que el útero se contraiga, pero se cree que la producción inicial de estas hormonas se activa por una sustancia química todavía desconocida que produce el feto. Por lo tanto, el feto es el que le dice a la madre que empiece a producir las hormonas que inducen el parto. Si el parto no comienza de forma natural, el personal médico administra a la madre prostaglandinas u oxitocina sintética para inducirlo.

Cuando el feto nace por fin, el organismo se llama *neonato*, que significa recién nacido. Una vida comienza, y el desarrollo continúa. Para más información sobre lo que ocurre durante el embarazo te recomendamos que

leas *Embarazo para Dummies*, dentro de esta misma colección.

Diferenciación, desarrollo y determinación

Seguramente no tenías ni idea de que gran parte de tu ser está controlado por tres D: diferenciación, desarrollo y determinación. La *diferenciación* es la especialización de células que tiene lugar durante el desarrollo; determina cuáles serán los aspectos estructurales y funcionales de las células. El *desarrollo* es el proceso general mediante el cual un organismo pasa por una serie de etapas de diferenciación; con el tiempo, los cambios que ocurren a escala celular durante el desarrollo se hacen visibles. La *determinación* consiste en que una célula se desarrolle de una determinada manera; es decir, cuando se diferencia y se convierte en un tipo de célula en concreto, por ejemplo una célula cerebral o una célula ósea.

Piensa en lo siguiente: tú empezaste como una célula diminuta. Cuando el núcleo de un espermatozoide de tu padre se fusionó con el núcleo de un óvulo de tu madre, se creó una única célula que contenía toda tu información genética. Cuando esa primera célula se dividió, algunos de sus descendientes pasaron a ser células cardíacas, epiteliales, cerebrales o hepáticas. Cada uno de estos tipos de células tiene un aspecto diferente y se comporta de manera diferente en el organismo, pero todos tienen exactamente la misma información genética. Lo que diferencia unas células de otras no es la información genética, sino el modo en que cada una utiliza esa información genética.



Las células se diferencian unas de otras por medio de la *regulación de la expresión génica*, un proceso que controla qué grupo de genes utiliza una determinada célula en un momento concreto.



Si ves los distintos tipos de células de tu organismo como obreros

encargados de realizar diferentes trabajos, encontrarás sentido a que cada uno necesite unas herramientas concretas. En el caso de una célula, esas herramientas son un conjunto de proteínas en concreto. Para conseguir proteínas, las células acceden a los genes del ADN que contienen las especificaciones originales de esas proteínas. Así pues, las células cardíacas utilizan algunos genes del ADN para sintetizar las proteínas que necesitan para la contracción, mientras que las células cutáneas utilizan otros genes del ADN para sintetizar las proteínas que necesitan para protegerte de las infecciones (en el capítulo 8 nos extendemos más sobre la regulación de la expresión génica).

En los siguientes apartados explicamos la especialización de las células para realizar tareas determinadas en el organismo. Asimismo, comentamos algunos de los experimentos que están realizando los científicos para intentar averiguar la forma de recuperar la programación de una célula cuando ya se ha especializado en ser una célula de un tipo concreto.

La capacidad de convertirse en cualquier tipo de célula

Inicialmente, todas y cada una de las células de tu organismo (y del organismo de muchos otros animales) son *pluripotentes*, es decir, tienen la capacidad de convertirse en cualquier tipo de célula o incluso en un organismo completo. Al diferenciarse durante el desarrollo, las células pierden la capacidad de expresar todos los genes que contienen, lo que significa que, en condiciones normales, una célula que se convierte en una célula muscular ya no podrá cambiar y ser una célula epitelial.

La diferenciación ocurre como resultado de señales que hacen que las células utilicen solo una parte de la información genética que contienen. Una de las líneas actuales de investigación se centra en comprender estas señales y descubrir la forma de reprogramar las células con el fin de utilizarlas para curar lesiones traumáticas y enfermedades. A continuación, mencionamos un par de experimentos que se han llevado a cabo para descubrir la forma de restablecer la programación de una célula.

- ✓ Dos investigadores, Robert Briggs y T. J. King, estudiaron células de renacuajos para ver si habían perdido la capacidad de ser reprogramadas y, en tal caso, cuándo había sucedido. Según pudieron observar, hasta la etapa de blástula, momento en que el organismo contiene entre 8.000 y 16.000 células, una única célula de renacuajo conserva la capacidad de convertirse en un organismo completo. En otras palabras: una sola célula de una blástula podría dar lugar a otro renacuajo. Sin embargo, cuando utilizaron células de un período de desarrollo posterior, no tuvieron éxito.
- ✓ Otro investigador, J. B. Gurdon, obtuvo embriones de rana normales a partir de células epiteliales de una rana adulta. Gurdon utilizó el *trasplante nuclear* para transferir el núcleo de una célula epitelial de una rana adulta a un óvulo anucleado (es decir, al que previamente le había quitado el núcleo). Cuando el núcleo de la célula epitelial diferenciada fue transferido al citoplasma del óvulo, dirigió el crecimiento y desarrollo de un renacuajo genéticamente idéntico a la rana de la que provenía dicho núcleo. Si el óvulo al que se trasplantaba la célula no había pasado ya por un punto crítico de su desarrollo, se desarrollaba un renacuajo.

El experimento de Gurdon fue la primera vez que se logró *clonar* un organismo, es decir, obtener un organismo genéticamente idéntico al organismo donante del núcleo trasplantado. Desde el experimento de Gurdon se han clonado otros animales, de los cuales el más famoso es la oveja *Dolly*.



Los experimentos de clonación animal demuestran que el núcleo de las células diferenciadas conservan toda la información genética necesaria para convertirse en otros tipos de células.

Aunque parece ser que existe un punto en que las células de los animales se diferencian en distintos tipos, la pluripotencia de muchas células vegetales permanece intacta. Como seguramente sabrás, si coges un esqueje de una

planta, lo hundes en la tierra y lo riegas, crece otra planta entera. El esqueje no tiene raíces, pero es capaz de desarrollarlas porque todavía tiene acceso a los genes necesarios para la función de las células radiculares. De igual modo, es posible coger unas pocas células de una planta y obtener de ellas otra planta entera.

Factores que afectan a la diferenciación y al desarrollo

Cuando el desarrollo embrionario comienza, todas las células del embrión son pluripotentes hasta que reciben unas señales de su entorno y entonces se convierten en células del sistema nervioso, células de tejido muscular, células cardíacas, células pulmonares, etc. La mayoría de los cambios del desarrollo están originados por señales del entorno que les dicen a las células embrionarias qué deben hacer y cuándo. Estas señales extracelulares pueden ser de varios tipos:

- ✓ **Inducción embrionaria.** Consiste en la influencia que un grupo de células ejerce en otro grupo y hace que las del segundo grupo alteren su desarrollo. Las células que ejercen esta influencia, los *organizadores*, segregan ciertas sustancias químicas o interaccionan con las células objetivo mediante contacto directo. La formación del cristalino es un ejemplo de inducción embrionaria. Al principio los ojos son unos simples abultamientos (o *vesículas ópticas*) en los lados del cerebro primitivo. Cuando las vesículas ópticas tocan el ectodermo, este se espesa y forma la placa cristalina, que acabará convirtiéndose en el cristalino.
- ✓ **Migración celular.** Consiste en el desplazamiento de células a otros lugares durante el desarrollo. Puede ser una respuesta a señales químicas. Una vez que llegan a su destino, las células se unen a otras similares y se diferencian para convertirse en un tipo de tejido específico. Cuando el cerebro está desarrollándose, por ejemplo, las células neurales primitivas migran al exterior del tubo neural para

formar las distintas partes del cerebro y luego comienzan a crecer y a establecer conexiones con sus células objetivo.

- ✓ **Genes homeóticos.** Son genes especiales que activan o desactivan otros genes como si fueran interruptores genéticos. Las proteínas producidas por los genes homeóticos interaccionan con el ADN y afectan a la expresión de otros genes. Cuando se activan ciertos genes, se producen ciertas proteínas que contribuyen al desarrollo. Cuando se desactivan ciertos genes, la proteína que estos deberían crear no está presente, de modo que no puede influir en el desarrollo. Estas acciones controlan la presencia o ausencia de determinadas sustancias en el embrión, regulando así su desarrollo. El efecto de los genes homeóticos se ha visto en los estudios realizados con la mosca de la fruta. Si se provoca una mutación en los genes homeóticos de esta mosca, las distintas partes del cuerpo se forman en lugares equivocados; por ejemplo, las patas pueden aparecer donde deberían estar las antenas.



Hace varios años se descubrió que la gran mayoría de genes homeóticos de numerosas especies (entre ellas la humana) comparten un fragmento de ADN de 180 nucleótidos de longitud (bastante corto) llamado homeosecuencia. Una *homeosecuencia* es la secuencia del gen homeótico que permanece inalterada generación tras generación. De hecho, incluso después de tantas y tantas generaciones, se observan similitudes en las homeosecuencias de todos los seres vivos de la Tierra.

- ✓ **Muerte celular programada.** También llamada *apoptosis*, consiste en el suicidio de las células en determinados momentos. Durante el desarrollo del embrión humano, por ejemplo, los dedos aparecen cuando las células que hay entre ellos se suicidan, de manera que desaparecen y así se crean los espacios interdigitales.
- ✓ **Factores citoplasmáticos.** Estas moléculas crean diferentes medios en el citoplasma de una célula, de modo que los descendientes de esa célula se desarrollan de formas diferentes. Durante la división celular que tiene lugar en las primeras etapas del desarrollo, el citoplasma, generalmente,

se distribuye de forma desigual entre los ovocitos de segundo orden. Así, puede que algunas células tengan un número mayor de ciertos factores citoplasmáticos que otras. Los factores citoplasmáticos pueden hacer que la célula active ciertos genes que determinarán su destino; por ejemplo, las diferencias existentes en el citoplasma de las células durante las primeras etapas del desarrollo son las que definen el eje anteroposterior del embrión, lo que posteriormente hará que la cabeza se diferencie del resto del cuerpo.

- ✓ **Hormonas.** Estas sustancias influyen en el desarrollo después de que se hayan formado la mayoría de los órganos vitales (corazón, pulmones, riñones e hígado) y las extremidades hayan crecido en el lugar que les corresponde. Cuando todo está en su sitio, las hormonas controlan el aspecto externo del cuerpo. La producción de testosterona en un feto masculino, por ejemplo, conduce a la formación de los caracteres sexuales primarios de un varón.

La diferenciación sexual en los seres humanos

Los seres humanos también experimentan los efectos de las hormonas durante el desarrollo. De hecho, los varones y las mujeres son organismos idénticos hasta que tiene lugar la diferenciación sexual.

En las primeras etapas del desarrollo, los fetos humanos tienen dos tipos de conductos internos: unos para el aparato reproductor femenino y otros para el aparato reproductor masculino. La etapa del desarrollo durante la cual ambos tipos de conductos coexisten se llama *etapa indiferenciada* (porque todavía no hay diferencias entre varones y mujeres). En los seres humanos, esta etapa va desde la fecundación hasta la séptima semana de gestación (más o menos hacia el final del segundo mes), razón por la cual las ecografías que se hagan antes de ese momento no permiten distinguir el sexo del embrión. **Nota:** si el embarazo se está desarrollando con normalidad, la primera ecografía suele realizarse a las 16 semanas de gestación, cuando ya es posible ver el sexo del feto.



Los dos tipos de conductos son los *conductos de Wolff*, que acaban convirtiéndose en el conducto deferente, el epidídimo (en los testículos) y las vesículas seminales de un varón, o en los *conductos de Müller*, que acaban convirtiéndose en las trompas de Falopio, el útero y la vagina de una mujer.

En el interior de las células, los cromosomas determinan si el embrión acabará siendo un varón o una mujer. De los 46 cromosomas humanos, el último par (los dos cromosomas 23) son dos cromosomas X o bien un cromosoma X y un cromosoma Y. Dos cromosomas X dan sexo femenino; un cromosoma X y otro Y dan sexo masculino. Si en las células del aparato reproductor que se está formando hay dos cromosomas X, los conductos femeninos se desarrollan y los masculinos se desintegran. Si en las células hay un cromosoma X y uno Y, ocurre lo contrario.

En los siguientes apartados explicamos cómo aparecen los caracteres sexuales primarios y señalamos algunos errores que pueden producirse.

Cómo se vuelven niños los niños

Un gen llamado SRY (iniciales en inglés de *región determinante del sexo en el cromosoma Y*) es el gen que determina el sexo masculino. El gen SRY contiene información para la síntesis de la proteína factor determinante testicular (TDF), un factor de transcripción que interacciona con el ADN y activa la transcripción de los genes necesarios para el desarrollo de los testículos (los *factores de transcripción* son proteínas que activan y desactivan genes; más información en el capítulo 8).

Una vez formados, los testículos empiezan a secretar testosterona (en forma de *dihidrotestosterona*, o DHT). La testosterona contribuye al desarrollo del aparato reproductor masculino y es la responsable de que se formen los genitales externos.

Los conductos necesarios para la eyaculación del semen están terminados al cabo de 14 semanas de gestación (al comienzo del segundo trimestre del embarazo). Más o menos en ese momento el pene, los testículos y la bolsa escrotal se desarrollan a partir del tubérculo genital, las eminencias genitales y

los pliegues genitales. Más concretamente, el tubérculo genital se convierte en el glande, los pliegues genitales se convierten en el cuerpo del pene y las prominencias genitales se convierten en la bolsa escrotal.

Si el gen SRY no está presente, las gónadas primarias se convierten en ovarios, pero se requieren dos cromosomas X para que esos ovarios se mantengan.

Cómo se vuelven niñas las niñas

La ausencia de DHT en el feto es lo que activa el desarrollo de los genitales femeninos externos. Sin DHT, el tubérculo genital se convierte en el clítoris (el equivalente al glande), las prominencias genitales se convierten en los labios mayores y los pliegues genitales se convierten en los labios menores.



Los genitales femeninos externos se forman aunque los genitales internos no se desarrollen. Las estructuras femeninas externas están terminadas al cabo de 14-16 semanas de gestación.

Problemas con el desarrollo sexual

El complejo proceso de diferenciación sexual requiere la intervención de genes y hormonas, y no siempre se produce sin errores. A continuación señalamos los problemas que pueden surgir durante la estimulación hormonal de los genitales:

- ✓ **Insensibilidad a los andrógenos.** Los varones que no son capaces de desarrollar genitales masculinos externos padecen *insensibilidad a los andrógenos*. Si el receptor de andrógenos presenta alguna anomalía, el embrión no puede fijar la DHT necesaria para producir genitales masculinos. Así pues, el recién nacido puede ser un varón desde el punto de vista genético (XY), pero sus genitales externos serán femeninos.
- ✓ **Intersexualidad (o hermafroditismo).** Puede ocurrir que una persona tenga características masculinas y femeninas, a causa de desequilibrios hormonales. Si el embrión segrega una cantidad excesiva de *andrógenos suprarrenales* (hormonas que intervienen en la síntesis normal de DHT y

testosterona), aunque su sexo genético sea femenino puede desarrollar unos genitales externos masculinizados con pene y testículos y a la vez tener unos ovarios normales y otras estructuras reproductivas internas femeninas. O también puede ocurrir que un feto cuyo sexo genético sea masculino padezca submasculinización.

- ✓ **Síndrome de Klinefelter.** Solo afecta a varones, que tienen dos cromosomas X y un cromosoma Y (por tanto, son XXY). Generalmente tienen testículos pequeños y no producen suficiente testosterona. Como consecuencia, los caracteres sexuales secundarios masculinos (por ejemplo el vello facial) no se desarrollan por completo. Los varones con síndrome de Klinefelter suelen ser estériles y más altos que la media; también pueden presentar características feminizantes, por ejemplo pechos agrandados. El tratamiento con hormonas reduce mucho estos efectos y permite que el varón se desarrolle con más normalidad y tenga una vida sexual normal.
- ✓ **Síndrome de Turner.** Este trastorno genético, que causa esterilidad en mujeres, puede ocurrir de dos formas. En primer lugar, puede que a una persona de sexo genético femenino (XX) le falte parte o todo un cromosoma X; el resultado es un sujeto XO (una persona que solo tiene un cromosoma sexual, una X) que no es del todo varón ni mujer. En segundo lugar, puede ocurrir que en un embrión con un cromosoma X y un cromosoma Y (lo que normalmente indica sexo masculino), se produzca una supresión en la región del gen determinante del sexo del cromosoma Y. Esta supresión impide el desarrollo de testículos, de manera que no se produce DHT. La persona desarrolla genitales internos y externos femeninos, pero los ovarios fallan prematuramente. Las mujeres que padecen el síndrome de Turner suelen ser de baja estatura, pueden presentar unos pliegues cutáneos característicos en el cuello y en muchos casos no entran en la pubertad. No obstante, los avances recientes en terapia hormonal han logrado reducir estos efectos de manera significativa.

Parte V

No es fácil ser verde: estructura y funciones de los vegetales

The 5th Wave

Rich Tennant



—Póngame el sándwich de queso que tiene ese moho tan interesante, y también los canelones florecidos. ¡Ah!, y ese flan de vainilla que tiene pinta de llevar una semana expuesto.

En esta parte...

Los vegetales tienen muchas cosas en común con los animales: están hechos de tejidos, por su interior circulan materiales y se reproducen sexualmente. Pero bien es cierto que en otras cosas son muy diferentes. Piensa por un momento qué harías si alguien te hundiera en el suelo hasta las rodillas y te dejara allí tirado. Tú estarías perdido, pero las plantas se las apañan la mar de bien porque pueden fabricar su propio alimento. Además, tienen estrategias para atraer a polinizadores que los ayuden a reproducirse e incluso sistemas de defensa contra depredadores.

No está mal para un organismo que no puede emitir ni un sonido, ¿verdad? En esta parte hablamos sobre la estructura y las funciones de los vegetales que pueblan la Tierra.

Capítulo 20

La vida vegetal

En este capítulo

- ▶ Examinar la estructura de las plantas
 - ▶ Ver qué necesita una planta para crecer
 - ▶ Explorar las diferencias entre reproducción asexual y sexual
-

La estructura de una planta es la adecuada para su forma de vida. Tiene hojas, con las que capta la luz solar, raíces, con las que absorbe agua del suelo, y flores y frutos con los que se reproduce. Las plantas salen de semillas o esporas, crecen hasta la madurez y luego se reproducen por vía asexual o sexual para crear nuevas generaciones.

En este capítulo presentamos las estructuras fundamentales de los vegetales, te contamos cómo obtienen la energía necesaria para su crecimiento y describimos sus estrategias reproductivas.

La estructura de los vegetales

Igual que los animales, los vegetales están hechos de células y tejidos. Esos tejidos forman órganos, por ejemplo hojas y flores, que están especializados en diferentes funciones. Los vegetales tienen dos sistemas orgánicos principales: un sistema radicular (por debajo del suelo) y una parte aérea (por encima del suelo). El sistema radicular fija la planta y también absorbe

minerales y agua del suelo. La parte aérea garantiza que el vegetal reciba suficiente luz solar para realizar la fotosíntesis; además se encarga de conducir el agua captada por las raíces hasta todas las partes de la planta y de hacer circular azúcares por todo el organismo.

Los sistemas orgánicos vegetales tienen tres tipos de tejidos. A partir del tipo de tejido y la estructura de los tallos, los biólogos han dividido el reino vegetal en cuatro grandes grupos.

Tejidos vegetales

Todos los vegetales tienen tejidos, aunque no todos tienen los tres tejidos descritos a continuación:

- ✓ **Tejido dérmico.** El tejido dérmico, compuesto principalmente por células epidérmicas, cubre toda la superficie del vegetal. Las células guardianas de la epidermis controlan la apertura y el cierre de los estomas, que permiten a la planta intercambiar gases con su entorno (puedes ver un estoma en el apartado transversal de la hoja representada en la figura 20-1).
- ✓ **Tejido fundamental.** Es el tejido del que se compone la mayor parte del cuerpo de la planta. Contiene tres tipos de células.
 - Las **células parenquimáticas** son las más comunes del tejido fundamental. Llevan a cabo muchas funciones celulares básicas, incluidas almacenamiento, fotosíntesis y secreción.
 - Las **células colenquimáticas** tienen paredes celulares gruesas para ayudar a que la planta se sostenga.
 - Las **células esclerenquimáticas** son parecidas a las colenquimáticas, pero con paredes todavía más gruesas. De hecho, son tan gruesas que las células esclerenquimáticas maduras mueren porque no consiguen que los alimentos o el agua atraviesen sus paredes mediante ósmosis (tienes más información en el capítulo 4).

- ✓ **Tejido vascular.** El sistema de túbulos que transportan nutrientes por el interior de la planta está hecho de tejido vascular. Este tipo de tejido se compone de *xilema* (la parte que transporta agua) y *floema* (la parte que transporta azúcares). El tejido vascular también contiene el *cámbium vascular*, un tejido capaz de dividirse con el fin de producir nuevas células para el xilema y el floema (las plantas vasculares son las más abundantes de la Tierra. Sus células y estructuras básicas están representadas en la figura 20-1).

Tipos de plantas

En función del tipo de tejidos y de las estructuras reproductivas que tengan, las plantas pueden dividirse en cuatro grandes grupos:

- ✓ Los **briófitos** son plantas que carecen de sistema vascular y no producen flores ni semillas, como los musgos.
- ✓ Los **pteridófitos** tienen tejido vascular pero no producen semillas.
- ✓ Las **gimnospermas** (cuyo grupo más numeroso es el de las coníferas) tienen tejido vascular y producen semillas en los conos (o piñas), pero no producen flores.
- ✓ Las **angiospermas** (o *plantas con flores*) tienen tejido vascular y producen tanto flores como semillas. Se dividen en dos grupos:
 - Las **monocotiledóneas**, como el maíz y los lirios, tienen semillas dotadas de un cotiledón (el órgano del que se nutre el embrión; cuando la semilla empieza a crecer, forman las primeras hojas).
 - Las **dicotiledóneas**, como las judías, los robles y las margaritas, cuyas semillas tienen dos cotiledones.

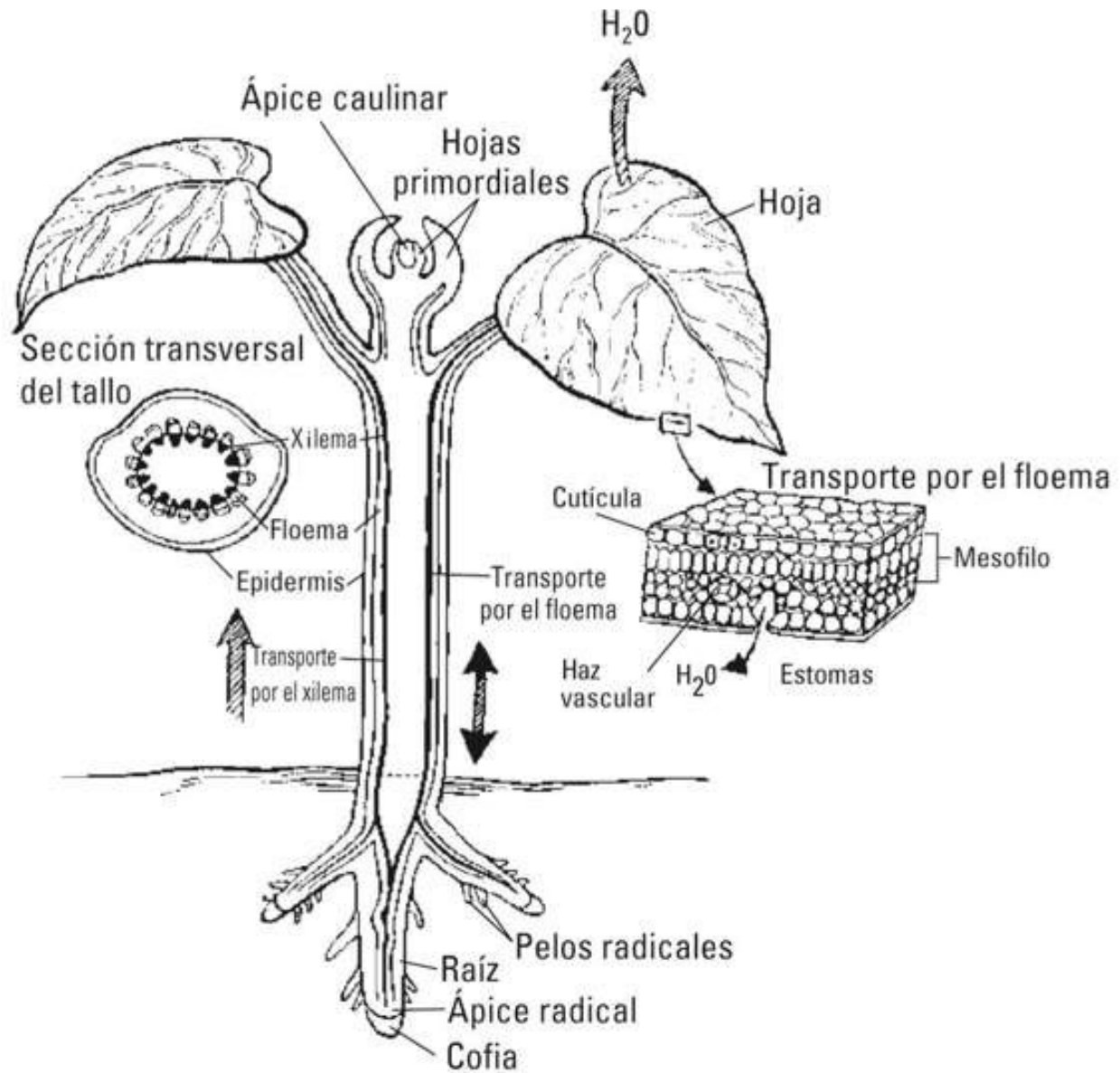


Figura 20-1:
Las estructuras básicas de una planta vascular.

La tabla 20-1 recoge las principales diferencias estructurales entre monocotiledóneas y dicotiledóneas.

Tabla 20-1: Diferencias estructurales entre monocotiledóneas y dicotiledóneas

<i>Característica</i>	<i>Monocotiledóneas</i>	<i>Dicotiledóneas</i>
Cotiledones en semillas	Uno	Dos
Haces de tejido vascular	Diseminados por toda la planta	Recogidos en una anillo limitado del tallo
Xilema y floema	En el tallo	En el tallo
Nervios de las hojas	Discurren en paralelo	Nunca son paralelos.
Flores	En grupos de tres y múltiplos de tres	En grupos de cuatro o cinco y múltiplos de cuatro o cinco

Tallos herbáceos y tallos leñosos

El aspecto y el tacto del tallo de una planta establecen dos categorías: *herbáceas* (el tallo es más flexible) o *leñosas* (el tacto tiene madera en su tejido estructural). Todas las células vegetales tienen una pared de celulosa, pero las células de las plantas leñosas poseen un refuerzo añadido, consistente en una pared secundaria que contiene gran cantidad de *lignina*, que es una sustancia dura.



Las plantas que solo sobreviven una o dos temporadas (es decir, las *anuales* y las *bianuales*) son herbáceas. Las plantas que duran varios años, las *perennes* o *vivaces*, se hacen leñosas.

Los tallos de las dicotiledóneas herbáceas y leñosas están organizados de maneras diferentes. Estas diferencias se aprecian con gran claridad al observar la sección transversal (un corte perpendicular al eje longitudinal) de un tallo.

Imagina que coges el tallo y lo cortas en rodajitas: así, ni más ni menos, es como se practica una sección transversal.

Si observas la sección transversal del tallo de una dicotiledónea herbácea,

verás que:

- ✓ En el centro del tallo se encuentra la *médula* (un tejido blando y esponjoso), que tiene muchas células de paredes delgadas: las *células parenquimáticas*. La delgadez de las paredes permite la difusión de nutrientes y agua entre células.
- ✓ El tejido vascular está organizado en *haces vasculares* que contienen xilema y floema, así como un poco de cámbium vascular (todo esto se describe en el apartado “Tejidos vegetales”). Los haces vasculares forman un cilindro alrededor de la médula.
- ✓ Fuera del cilindro vascular se encuentra el córtex. Contiene una capa de endodermis, más células parenquimáticas y tejido mecánico que sostiene el peso de la planta y mantiene el tallo recto.
- ✓ En la superficie del tallo está la epidermis y la cutícula.

Las dicotiledóneas leñosas empiezan como tallos herbáceos verdes dotados de haces vasculares. Cuando crecen, sin embargo, los haces se fusionan entre sí y forman un cilindro de tejido vascular alrededor del tallo. Si examinaras la sección transversal del tallo de una dicotiledónea leñosa de dos años de edad (como la representada en la figura 20-2), verías que:

- ✓ En el centro del tallo se encuentra la médula.
- ✓ El tejido xilémico forma un anillo alrededor de la médula. Cuando las plantas leñosas crecen, cada año se añaden nuevas capas de xilema que forman anillos en el interior del tallo (contando los anillos del tronco de un árbol puedes saber cuántos años tenía cuando lo talaron). A medida que estos anillos de xilema se van acumulando, el diámetro del tallo leñoso aumenta.



La parte interna de un tallo leñoso se llama *duramen*. Se compone de tejido xilémico antiguo, ya muerto, que contiene gomas y resinas y no conduce agua. El duramen está rodeado por la *albura*, capas nuevas de tejido xilémico que transportan agua y minerales por el tallo.

- ✓ Los anillos de xilema están rodeados por un anillo de cámbium vascular. A medida que el tallo crece, el cámbium se divide, de manera que produce nuevas células xilémicas por la parte interior del tallo y nuevas células floémicas por la parte exterior.
- ✓ Alrededor del anillo de cámbium hay un anillo de floema. El floema de las plantas leñosas se aleja cada vez más del centro del tallo a medida que el tejido xilémico aumenta de tamaño año tras año. Las células floémicas son bastante delicadas, y las antiguas se aplastan contra la corteza a medida que el tallo va creciendo. El único floema que transporta materiales por la planta leñosa es el floema reciente, el que se ha formado durante la última temporada.
- ✓ Por fuera del floema está la *corteza*, un anillo de células compactas e impermeables que ayudan a proteger el tallo. La corteza comprende las células más exteriores del tallo y una capa, generalmente bastante delgada, de células de corcho justo por debajo de esa capa más exterior.

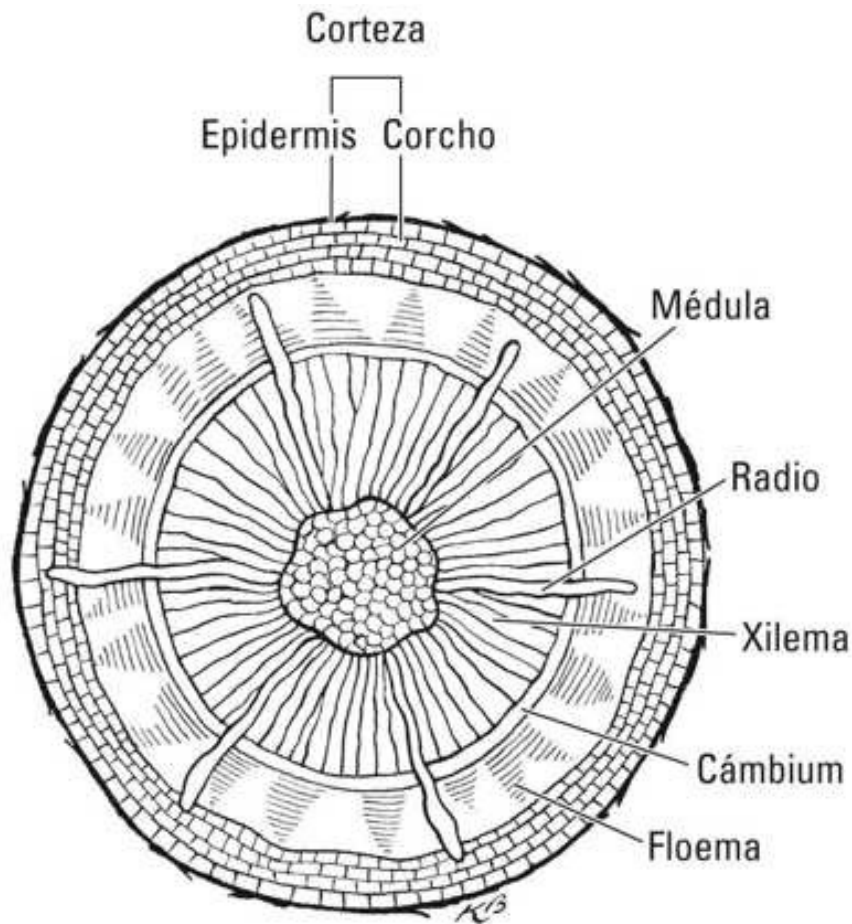


Figura 20-2:
Sección transversal de un tallo leñoso.

Obtener materia y energía para crecer

La principal diferencia entre vegetales y animales es la manera en que consiguen la materia y la energía necesarias para crecer. Los animales necesitan ingerir otros seres vivos para alimentarse, pero las plantas son capaces de fabricar su propio alimento. Las plantas absorben la luz solar y utilizan esa energía para sintetizar glucosa a partir de dióxido de carbono y agua por medio de la fotosíntesis (el proceso de la fotosíntesis se describe con detalle en el capítulo 5); la glucosa proporciona a las plantas la energía y la materia necesarias para crecer.



Como puedes ver en la lista siguiente, la especialización de las estructuras vegetales hace posible que las plantas realicen la fotosíntesis:

- ✓ **El sistema aéreo hace posible que las plantas capten energía del Sol.** Al crecer hacia arriba los tallos, las hojas quedan expuestas al sol. A menudo la forma de las ramas hace que se extiendan todo lo posible. También las hojas planas aumentan la superficie expuesta.
- ✓ **El sistema radicular absorbe agua y minerales del suelo.** La fotosíntesis y el funcionamiento básico de las plantas requieren agua. Los minerales desempeñan la misma función para las plantas que para las personas: forman parte de las enzimas y, por tanto, son imprescindibles para el metabolismo. Asimismo, las plantas absorben compuestos nitrogenados del suelo y los utilizan, junto con los hidratos de carbono producidos mediante la fotosíntesis, para sintetizar proteínas vegetales (en el capítulo 11 explicamos el modo en que las plantas obtienen nitrógeno).
- ✓ **Los estomas de las hojas les permiten a las plantas tomar dióxido de carbono de la atmósfera (y expulsar oxígeno).** El dióxido de carbono proporciona los átomos de carbono y oxígeno que la planta necesita para fabricar hidratos de carbono. La fotosíntesis también produce oxígeno cuando se separan los átomos de hidrógeno y de oxígeno que hay en el agua. El oxígeno gaseoso sale de las plantas a través de los estomas.

Las plantas obtienen energía del mismo modo que los animales: mediante la respiración celular (más información en el capítulo 5). Cuando las plantas llevan a cabo la respiración celular, producen dióxido de carbono y consumen oxígeno igual que hacen los animales. Durante el día, sin embargo, la fotosíntesis absorbe tal cantidad de dióxido de carbono y libera tal cantidad de oxígeno que la respiración de la planta es indetectable. Si pudieras medir el intercambio gaseoso de una planta en la oscuridad, verías que intercambia gases igual que tú.

Reproducción asexual: yo me lo guiso, yo me lo como



Las plantas que se reproducen por vía asexual hacen copias de sí mismas y así se producen descendientes genéticamente idénticos a sus progenitores. La ventaja de la reproducción asexual es que es rápida y, así, en poco tiempo, se asegura que los organismos lleven a cabo una de sus funciones vitales. La desventaja es que todos los descendientes son genéticamente idénticos, lo cual disminuye la capacidad de la población para sobrevivir a cambios en el medio.

El método de reproducción asexual más común es la mitosis, descrita en el capítulo 6. Otra forma de reproducción asexual es la *fragmentación*, mediante la cual una parte del individuo original da origen a un nuevo individuo. Si coges un esqueje de una planta de tu casa y lo pones en agua, posiblemente le crecerán raíces y un tallo, con lo que habrás obtenido una nueva planta a partir de un trozo de la planta original. Del mismo modo, si cortas una patata en trozos, todos los trozos que estén grillados pueden producir una nueva planta de patata. En esencia, la nueva planta es un clon de la planta progenitora: tiene exactamente la misma información genética porque las células son idénticas.

Otras plantas, por ejemplo las fresas, producen estructuras especiales que les ayudan a reproducirse por vía asexual. Además de producir tallos, la planta de la fresa produce un *estolón*, que es un brote que crece por el suelo. El lugar donde el estolón echa raíces es donde crece una nueva planta de fresa. De forma similar, muchos helechos se reproducen asexualmente por medio de *rizomas*, que son tallos subterráneos.

Reproducción sexual: mezclar espermatozoides y óvulos

Lo creas o no, las plantas tienen relaciones sexuales. Primero producen

ovocélulas y espermatozoides por meiosis, igual que hacen los animales (en el capítulo 6 encontrarás más información sobre la meiosis). Luego se produce el encuentro de un espermatozoide y una ovocélula y se crean descendientes que presentan diferentes combinaciones de material genético que las plantas progenitoras.

En los siguientes apartados hablamos sobre el ciclo vital de las plantas que se reproducen sexualmente y sobre los pormenores y procesos que engloba dicho ciclo, desde la estructura de las flores y la polinización hasta la fecundación y el desarrollo (y protección) de los embriones vegetales.

La vida de una planta

Los ciclos de vida de las plantas son un poco más complejos que los de los animales. En el caso de los animales, los *gametos* (espermatozoides y óvulos) generalmente son microscópicos. En las plantas, en cambio, los gametos son muy vistosos.

En el ciclo vital de una planta hay alternancia de generaciones; eso significa que se diferencian dos fases, la del esporófito y la del gametófito (observa la figura 20-3). El ciclo consta de las siguientes etapas:

- 1. La meiosis en un esporófito (una planta progenitora) forma esporas haploides (es decir, tienen la mitad de los cromosomas que la planta progenitora).**
- 2. Las esporas se dividen por mitosis y crean organismos multicelulares haploides; cada uno de ellos es un gametófito.**



La fase del gametófito del ciclo vital de una planta representa una diferencia fundamental entre vegetales y animales. En el caso de los animales, no hay desarrollo hasta que un espermatozoide y un óvulo se combinan para crear un nuevo organismo. En las plantas, en cambio, entre la meiosis y la producción de espermatozoides y ovocélulas se produce una breve pausa durante la cual crece una pequeña planta

haploide independiente.

3. El gametófito produce gametos por mitosis.

En los animales, los espermatozoides y los óvulos se producen por meiosis, pero en el caso de las plantas los gametofitos se producen por mitosis.

4. Los gametos se fusionan y crean el cigoto, que contiene el mismo número de cromosomas que la planta progenitora; es decir, el cigoto es diploide.

5. El cigoto se divide por mitosis y se convierte en esporófito. Así el ciclo vital vuelve a comenzar.

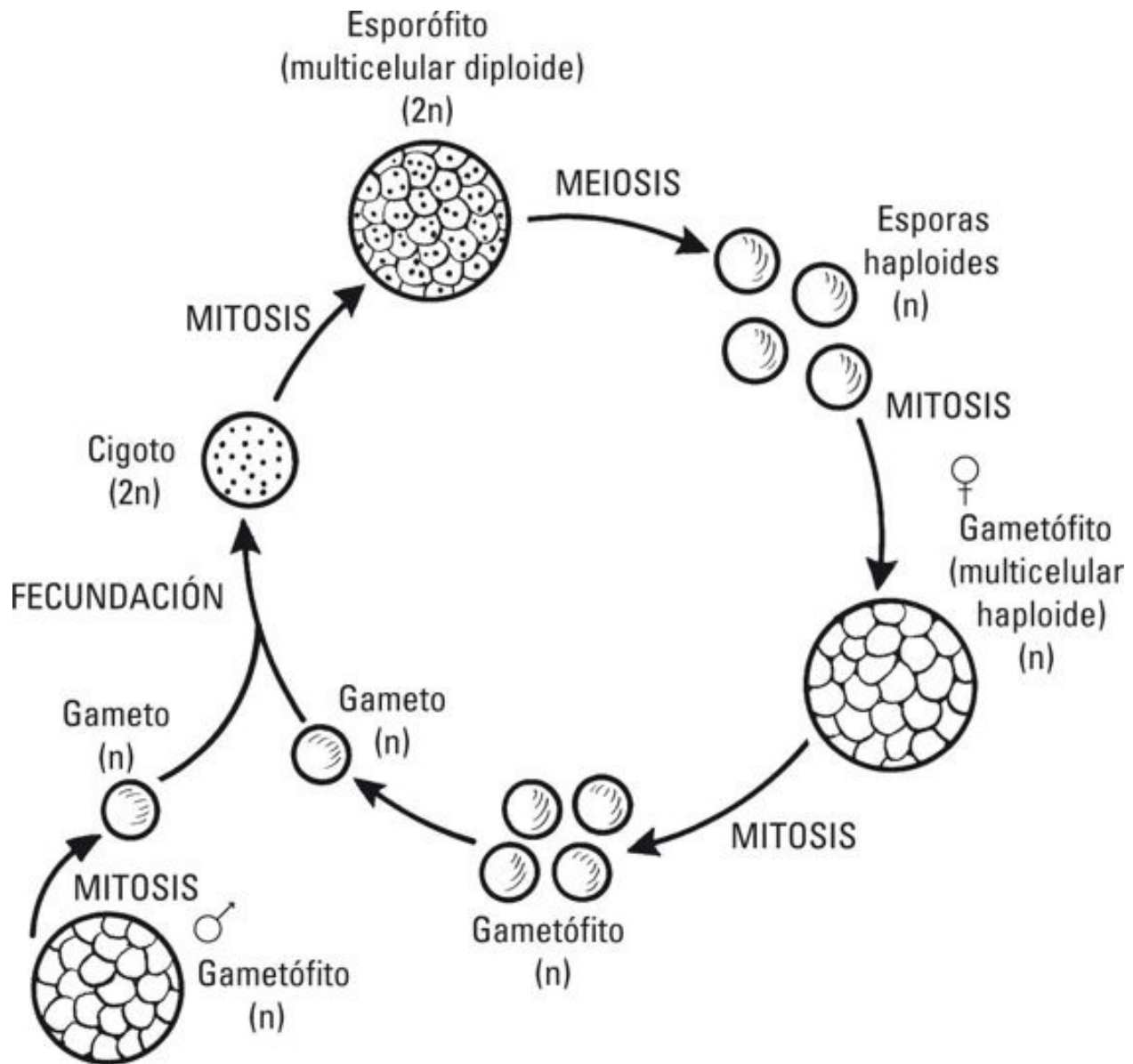


Figura 20-3:
Alternancia de generaciones en las plantas.

Las plantas que ves en el campo o en una maceta pueden ser esporófitos o gametófitos.

- ✓ Los musgos que crecen en los árboles y en el suelo del bosque son gametófitos. Si del musgo sobresalen pequeñas estructuras alargadas, se trata de un esporófito. Los esporófitos crecen a partir de la almohadilla de musgo, sobre un fino pedúnculo y con una *cápsula* en la punta. En el interior de las cápsulas se producen esporas por meiosis.

- ✓ Los helechos son esporófitos. Si examinas el dorso de las hojas de un helecho, verás unas pequeñas estructuras de color marrón o amarillo que sueltan un polvillo. Esas estructuras se llaman *soros* y dentro de ellos se crean las esporas. El polvo que se desprende son las esporas. El gametófito de los helechos es diminuto (más o menos del tamaño de la uña de tu meñique) y está en el suelo; por eso cuesta mucho encontrarlo en el medio natural.
- ✓ Las coníferas que ves en un bosque son esporófitos. El gametófito de los pinos, los cedros, los cipreses y los abetos, entre otras coníferas, es muy pequeño y se encuentra en el interior de las piñas.
- ✓ Las plantas con flores (angiospermas) son esporófitos. En ellas el gametófito es muy pequeño y está dentro de la flor.

Las partes de una flor

Con independencia de si las flores son grandes y vistosas o pequeñas e imperceptibles, su interior es el escenario de la reproducción sexual. Las flores se forman en unos tallos especializados de la planta y todas tienen unas estructuras comunes. A continuación describimos algunas de esas partes (puedes verlas representadas en la figura 20-4):

- ✓ El **receptáculo** es la base de la flor.
- ✓ Los **sépalos** son las hojas de la parte de abajo de la flor. Generalmente son verdes.
- ✓ Los **pétalos** son hojas modificadas que normalmente presentan colores llamativos, lo cual es uno de los factores que atraen animales polinizadores (de esto hablamos en el apartado siguiente).
- ✓ Los **estambres** son los órganos sexuales masculinos de la flor. Cada estambre se compone de una estructura larga y fina llamada *filamento* y un pequeño saco en la punta llamado *antera*. Mediante meiosis y mitosis, en el interior de la antera se produce el *polen*, que es el gametófito masculino.
- ✓ El **pistilo** es el aparato sexual femenino de la flor. En la base abultada

del pistilo se encuentra el ovario. Dentro del ovario se produce el gametófito femenino y la ovocélula, ambos alojados en el interior de un óvulo.

- ✓ El **estilo** y el **estigma** crecen del ovario. El polen cae sobre el estigma y luego baja por el estilo llevando los espermatozoides hasta las ovocélulas, que están en el interior del ovario.

La polinización y la fecundación

La *polinización*, es decir, la transferencia de polen al estigma de una flor, y la *fecundación*, es decir, la unión de un espermatozoide con una ovocélula, son dos procesos imprescindibles para la reproducción de las plantas con flores.

En algunas plantas, la polinización es *anemófila*. Eso significa que el viento dispersa el polen. Buena parte de él se pierde, pero otra parte cae sobre otras plantas de la misma especie. Otras plantas con flores dependen de animales como abejas, avispas, escarabajos, mariquitas, pájaros, moscas o murciélagos, entre otros, que transfieran el polen de una flor a otra.

Las plantas atraen a los polinizadores animales de las siguientes formas:

- ✓ Las plantas polinizadas por abejas y pájaros suelen tener colores llamativos y en muchos casos también ofrecen néctar para recibir más visitas. Los pétalos de algunas flores presentan marcas que guían a los insectos al lugar correcto. Estas guías son invisibles para el ojo humano pero visibles para las abejas, que pueden captar la luz ultravioleta.
- ✓ Algunas plantas, como ciertas orquídeas polinizadas por insectos, tienen incluso manchas de colores que imitan los del insecto que las poliniza. El insecto se dirige hacia la flor siguiendo el mismo instinto que lo lleva a aparearse. Allí se impregna de polen, que deposita en la siguiente flor que visita.
- ✓ Algunas plantas polinizadas por moscas huelen a carne podrida, lo cual atrae a algunos insectos que están buscando un buen lugar donde depositar sus huevos.
- ✓ Las flores polinizadas por murciélagos y polillas suelen ser de color

blanco, lo que hace que se vean mejor de noche, que es cuando se abren.

Cuando el polen llega al estigma de una flor, a cada grano de polen le crece un tubo largo llamado *tubo polínico*. Este baja por el estilo de la flor y así los espermatozoides que hay en el polen llegan directamente a los óvulos alojados en el interior del ovario.

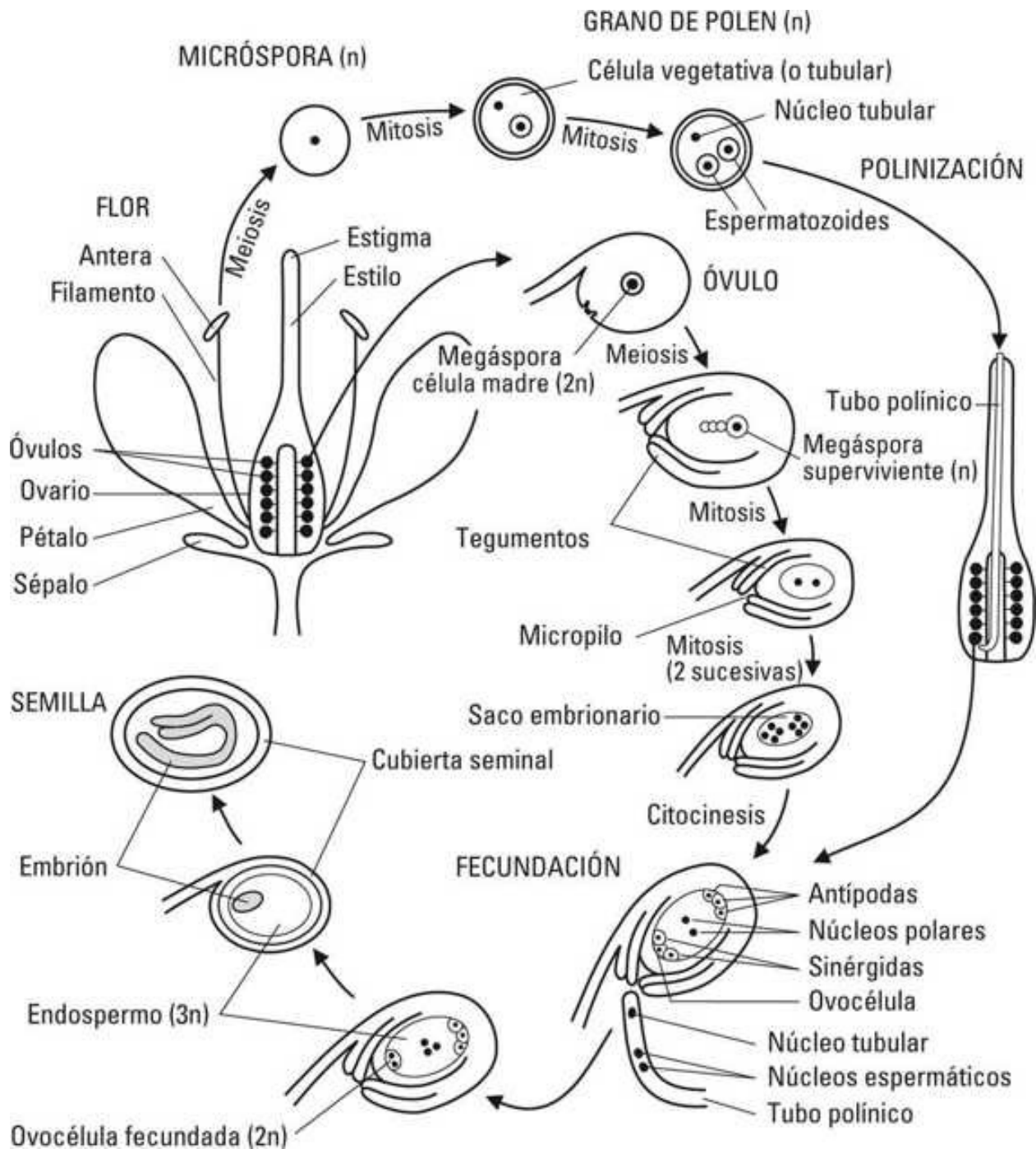


Figura 20-4:

Partes de una flor y reproducción sexual de las angiospermas.

Después de la polinización, dos núcleos espermáticos penetran en el *óvulo* (la parte del ovario que contiene la ovocélula y se convierte en la semilla tras la fecundación) y uno de ellos se fusiona con una ovocélula para formar el cigoto. El otro espermatozoide se une con dos células haploides del interior

del óvulo, llamadas *núcleos polares*, y forman el *endospermo*, un tejido que ayuda al desarrollo del embrión. En las plantas con flores, la fusión de dos células espermáticas, una con una ovocélula y la otra con los núcleos polares, se llama *doble fecundación*.

De cigoto a embrión

Tras la fecundación, el cigoto se divide por mitosis y produce un embrión. De la primera división celular resultan dos células, una grande y una pequeña. Después tienen lugar más divisiones celulares que dan lugar a una fila de células llamada *suspensor*. Las divisiones celulares subsiguientes forman el embrión, de tal manera que las células de la parte inferior crecen hacia abajo y darán las raíces; las células de la parte superior crecen hacia arriba y formarán brotes.

El *hipocótilo*, unido al extremo inferior del suspensor, se convierte en la parte inferior del tallo y las raíces. Los *cotiledones*, u hojas seminales, se desarrollan en el extremo superior del embrión; son estructuras temporales que almacenan nutrientes de las que se alimenta la planta que está desarrollándose. Una vez que la planta ya está creciendo por encima del suelo y ha empezado a producir nutrientes por sí sola mediante la fotosíntesis, los cotiledones se encogen hasta desaparecer.

Semillas: la protección del embrión

La *semilla* es una estructura protectora que contiene un embrión y tejido nutritivo del que se alimenta ese embrión hasta que puede sobrevivir por sí solo. El endospermo producido durante la doble fecundación le proporciona material nutritivo al embrión en desarrollo, los tejidos del óvulo se endurecen y se convierten en la cubierta seminal que protege el embrión; el ovario de la flor forma un fruto alrededor de la semilla. Después de desarrollarse, la semilla normalmente se seca. El bajo contenido de humedad mantiene el metabolismo del embrión en un nivel mínimo; por eso puede sobrevivir bastante tiempo alimentándose de las reservas. Así pues, las semillas que

compras en un sobrecito en la floristería de al lado de tu casa están vivas, pero se encuentran en un estado similar al de un oso en hibernación.

Cuando las semillas se plantan en un medio donde hay agua, absorben humedad y se hinchan. La presencia de agua hace que el metabolismo del embrión se active, con lo que empieza a crecer consumiendo las reservas de alimento que hay en el interior de la semilla. La *germinación* tiene lugar cuando las plántulas salen de la semilla y empiezan a crecer; así el embrión ha dado lugar a una planta diploide.

Capítulo 21

La fisiología de las plantas

En este capítulo

- ▶ Transportar agua y otros nutrientes por el interior de las plantas
 - ▶ Llevar los azúcares a su destino
 - ▶ Provocar respuestas mediante hormonas
-

La fotosíntesis (descrita en el capítulo 5) no es el único proceso vital que llevan a cabo las plantas. Por debajo de la superficie del suelo, las plantas captan agua y otros nutrientes y los transportan a la parte aérea. Además, desde las hojas salen los azúcares que se reparten por toda la planta. Mientras, las hormonas hacen que los tallos crezcan hacia la luz del sol, que broten inflorescencias o que se caigan las hojas en otoño.

Este capítulo puede considerarse una introducción a la fisiología de las plantas (la *fisiología* es la ciencia que estudia el funcionamiento de los organismos). En las páginas siguientes describimos los procesos que se dan en las plantas para transportar nutrientes, líquidos y azúcares por su interior, y también te hablamos de las hormonas que regulan el crecimiento y el desarrollo.

Los nutrientes, los líquidos y los azúcares circulan por la planta

Del mismo modo que tú tienes un sistema circulatorio que transporta alimento y oxígeno por el cuerpo, las plantas tienen un sistema que transporta nutrientes, líquidos y azúcares por sus estructuras (si bien las plantas fabrican todos esos compuestos que precisan en las hojas, tales compuestos son necesarios en todo el organismo). En los siguientes apartados te contamos cuáles son los nutrientes que deben absorber las plantas del suelo y cómo hacen para transportar azúcares desde las hojas y agua desde las raíces (sin que haya grandes pérdidas).

Nutrientes imprescindibles para las plantas

Igual que los animales, las plantas necesitan hidratos de carbono, proteínas, grasas y ácidos nucleicos para vivir. Además requieren elementos minerales con los que sintetizar sus moléculas y asegurar el correcto funcionamiento de las enzimas. Las plantas no se desplazan ni ingieren otros organismos, así que es fácil deducir que pueden obtener del medio en el que viven todos los nutrientes que necesitan para vivir.



Las plantas consiguen carbono, hidrógeno y oxígeno absorbiendo dióxido de carbono de la atmósfera y agua del suelo. Con la energía del Sol, combinan estas moléculas para formar hidratos de carbono mediante la fotosíntesis.

Por otra parte, las plantas obtienen del suelo los elementos minerales que necesitan. En la tierra, los minerales están disueltos en agua, de manera que cuando las plantas absorben agua a través de las raíces, obtienen nutrientes. De algunos elementos se necesita una gran cantidad, por eso se llaman *macronutrientes*, mientras que otros intervienen en concentraciones muy bajas, si bien son absolutamente imprescindibles: son los *micronutrientes*. En la tabla 21-1 se relacionan los macronutrientes y micronutrientes concretos que las plantas absorben del suelo.

Tabla 21-1: Nutrientes esenciales de las plantas

<i>Macronutrientes</i>	<i>Micronutrientes</i>
Calcio (Ca)	Boro (B)
Magnesio (Mg)	Cloro (Cl)
Nitrógeno (N)	Cobre (Cu)
Fósforo (P)	Hierro (Fe)
Potasio (K)	Manganeso (Mn)
Azufre (S)	Molibdeno (Mb)
	Zinc (Zn)

Si las plantas no obtienen suficiente cantidad de alguno de estos elementos importantes, no pueden realizar sus funciones correctamente. Sin carbono, hidrógeno y oxígeno (obtenidos del dióxido de carbono y del agua), las plantas no pueden crecer. Y aunque las plantas necesitan cantidades menores de minerales, la falta de un solo mineral puede causar un problema concreto. En la tabla 21-2 se indican estos problemas y las carencias de mineral que los originan.

Tabla 21-2: Efectos de las carencias de minerales sobre las plantas

<i>Mineral que falta</i>	<i>Efecto de la carencia</i>
Boro	Las hojas de los extremos de la planta se mueren y caen prematuramente; el crecimiento de la planta se ve afectado; a menudo no produce ni flores ni semillas.
Calcio	Las hojas se enrollan y se curvan; las raíces no se desarrollan lo suficiente y pueden volverse gelatinosas.
Cobre	Los ápices se marchitan y mueren; las hojas amarillean.
Hierro	Aparecen marcas blancas en los nervios de las hojas, que adquieren un color blanquecino; los bordes se ennegrecen.
Magnesio	Los nervios son verdes, pero el tejido foliar adquiere un tono blanquecino o amarillento y se vuelve quebradizo; las hojas pueden marchitarse, caer o morir.
Manganeso	Igual que el magnesio, pero los tallos adquieren un color verde amarillento y a menudo se endurecen.
Molibdeno	Las hojas se vuelven de color amarillo claro y en ocasiones dejan de crecer.
Nitrógeno	Falta de crecimiento; las hojas adquieren un color verde pálido, luego se vuelven amarillas y luego se secan y se desprenden.
Fósforo	Falta de crecimiento; a veces las hojas presentan un color violáceo; los tallos se adelgazan.
Potasio	Las hojas son de color verde pálido o amarillas con vetas oscuras; aparecen arrugas entre los nervios.
Azufre	Las hojas adquieren un color entre verde pálido y amarillo; los tallos son delgados.
Zinc	Las hojas mueren; aparecen vetas blancas entre los nervios de las hojas más viejas.

Agua y nutrientes hacia arriba

Para transportar agua y nutrientes desde las raíces hasta el resto de la planta es necesario que actúen a la vez varios procesos. Para entender cómo funcionan esos procesos, primero debes conocer una característica fundamental del agua: sus moléculas tienden a permanecer unidas. Las moléculas de agua se atraen entre sí por efecto de unas débiles fuerzas eléctricas llamadas *enlaces de hidrógeno*. Esta característica ayuda a que las moléculas de agua permanezcan unidas cuando bebas con una pajita (un proceso muy similar a uno de los métodos que utilizan las plantas para transportar agua por su interior).

El agua pasa del suelo a las raíces y luego sube por la planta gracias a una combinación de tres procesos:

- ✓ **Ósmosis.** Es el proceso físico por el que el agua penetra en las células del xilema de las raíces. La concentración de minerales en las células de las raíces es mayor que la de la tierra. Lo que hace que, durante la ósmosis, el agua fluya hacia la mayor concentración de sustancias disueltas (como para equilibrar la concentración en los dos medios que están en contacto). Esta entrada de agua incrementa la presión en las células de la raíz y hace que el agua pase al xilema de la planta (en el capítulo 20 explicamos la estructura de los vegetales).
- ✓ **Acción capilar.** Es la causante de que los líquidos asciendan por los tubos del xilema de la planta. Esta acción resulta de la *adhesión* (cuando dos superficies se unen al entrar en contacto) causada por la atracción entre las moléculas de agua y las paredes del tubo. Las fuerzas de adhesión hacen que el agua suba por la columna de elementos vasculares del xilema y penetre en los túbulos de la pared celular.
- ✓ **Transpiración y cohesión.** La *transpiración* es la evaporación de agua en las plantas a través de los estomas. Cuando el agua sale en forma de vapor a través de los estomas, se crea una presión negativa (también llamada *tensión* o *aspiración*) en las hojas y en los tejidos del xilema. Esta presión negativa generada en las hojas y en el xilema ejerce una fuerza de tracción sobre el agua y la hace subir por todos los conductos de la planta. Las moléculas de agua, unidas entre sí por efecto de la

cohesión (fuerza de atracción entre partículas adyacentes de un mismo cuerpo), llenan la columna del xilema y actúan como si fueran una única molécula de gran tamaño. Cuando el agua se evapora de la planta debido a la transpiración, el resto del agua sube desde las raíces y eso hace que la planta absorba más agua.



Esta combinación de transpiración y cohesión se conoce como *teoría de la cohesión-tensión*. El proceso es similar al que ocurre cuando bebes con una pajita. La fuerza de aspiración es como la evaporación a través de las hojas de la planta. Igual que tú haces subir una columna de líquido por la pajita, la planta hace que suba una columna de líquido por el xilema.

Agua más savia es igual a... ¿una gota de rocío?

Las gotitas de agua que ves sobre las hojas de las plantas a primera hora de la mañana no se componen únicamente de agua. Son una mezcla de agua y *savia*, una disolución de azúcares transportada por el floema (en el capítulo 20 se describe el floema y otros elementos estructurales de los vegetales). Estas gotículas de savia son la prueba de que el agua y los minerales provenientes del suelo son transportados por toda la planta (este proceso se describe en el apartado “Agua y nutrientes hacia arriba”).

Azúcares arriba y abajo a través del floema

La circulación de *savia* (el líquido viscoso que contiene azúcares, agua, minerales, aminoácidos y hormonas vegetales) por el floema es el resultado del transporte de materiales disueltos por el interior de la planta. A diferencia del xilema, que únicamente puede transportar agua de abajo arriba, el floema conduce la savia en sentido ascendente y descendente, desde las fuentes hasta los sumideros:

- ✓ Las *fuentes* son los órganos de la planta que producen azúcares, por ejemplo las hojas.
- ✓ Los *sumideros* son los órganos de la planta que consumen o almacenan azúcares, por ejemplo las raíces, los tubérculos o los bulbos.

La circulación por el floema se produce gracias al flujo por presión, descrita paso a paso a continuación:

1. **En primer lugar, los azúcares se cargan en los tubos cribosos, que son células del floema, dentro de las fuentes, y esto genera una alta concentración de azúcares en las fuentes. La concentración de azúcares en los sumideros es mucho menor.**

En los elementos de los tubos cribosos entra agua por ósmosis.

2. **Durante la ósmosis, el agua se desplaza a las zonas donde la concentración de solutos (en este caso azúcares) es mayor.**

La entrada de agua aumenta la presión en la fuente y eso provoca el desplazamiento de agua e hidratos de carbono en dirección a los elementos de los tubos cribosos de un sumidero.



3. **Para que lo veas más claro, esto es como abrir un grifo conectado a una manguera de jardín. El agua procedente del depósito empuja el agua que tiene delante y la hace circular por la manguera.**

Las células del sumidero se descargan de azúcares.

Cuando un sumidero recibe agua e hidratos de carbono, la presión aumenta. Sin embargo, antes de que el sumidero pueda convertirse en una fuente, los hidratos de carbono salen por transporte activo hacia las células que los necesitan. Al salir los hidratos de carbono, el agua sigue a los solutos y se difunde al exterior de la célula, lo que disminuye la presión hidrostática.



Los sumideros que almacenan hidratos de carbono pueden convertirse en fuentes cuando la planta necesita azúcares. El *almidón* es un hidrato de carbono complejo insoluble en el agua, de manera que actúa como molécula almacenadora de hidratos de carbono. Cuando la planta necesita azúcar, por ejemplo por la noche o durante los meses de invierno, que son menos favorables para la fotosíntesis, puede descomponer el almidón en azúcares simples, con lo que un tejido que normalmente sería un sumidero se convierte en una fuente.

Gracias a que las células vegetales pueden actuar como sumideros y como fuentes, y gracias a que el transporte por el floema tiene lugar en sentido ascendente y descendente, a las plantas se les da muy bien distribuir los hidratos de carbono y fluidos a los lugares donde son necesarios. Si la planta dispone de un suministro continuo de minerales, agua, dióxido de carbono y luz, podrá arreglárselas por sí sola indefinidamente.

Controlar la pérdida de agua

Como el agua es esencial para el funcionamiento de la planta, existen mecanismos que ayudan a evitar una pérdida excesiva. Estos mecanismos son las cutículas y las células guardianas.

La *cutícula* es una capa de células que hay en la parte exterior de las hojas (mira la figura 21-1). Deja pasar la luz pero al mismo tiempo impide que la hoja pierda agua. La cutícula de muchas plantas contiene ceras que impiden la entrada y salida de agua en las hojas, igual que la cera que aplicas sobre la carrocería del coche forma una capa protectora impermeable.

Las células guardianas se encuentran en el dorso de las hojas cerca de los *estomas*, esos minúsculos orificios que son invisibles a simple vista (puedes verlos representados en la figura 21-1).

Las plantas mantienen los estomas abiertos para conseguir dióxido de carbono para la fotosíntesis y para liberar oxígeno. Sin embargo, si los estomas están abiertos durante demasiado tiempo o si hace mucho calor, la planta puede

perder demasiada agua. Para impedir esa pérdida de agua, cada estoma está flanqueado por dos células guardianas.



Las células guardianas pueden hincharse y contraerse para abrir y cerrar los estomas.

Chupadores de savia

Los áfidos son unos insectos diminutos que pueden acabar con las plantas de tu casa en un santiamén, ya que se alimentan de la savia que circula por el floema. Tienen unas estructuras largas y puntiagudas, los estiletes, con las que chupan la savia. La introducción del estilete no le causa ningún daño a la planta; de hecho, los áfidos pueden pinchar directamente un tubo criboso sin que la planta se resienta. El áfido permanece en la planta durante horas chupando savia sin parar. Lo que causa daños es la pérdida de savia (y el efecto acumulativo de montones de áfidos alimentándose de la misma planta). Los áfidos se atiborran y la planta se queda sin savia.

Ahora se ha descubierto una manera de utilizar estos insectos para estudiar el transporte en el floema. Para observarlo, se permite que los áfidos introduzcan sus estiletes en la planta y luego se corta el insecto pero dejando el estilete clavado. Los materiales que circulan por el floema salen por los estiletes y pueden ser recogidos para continuar los estudios.

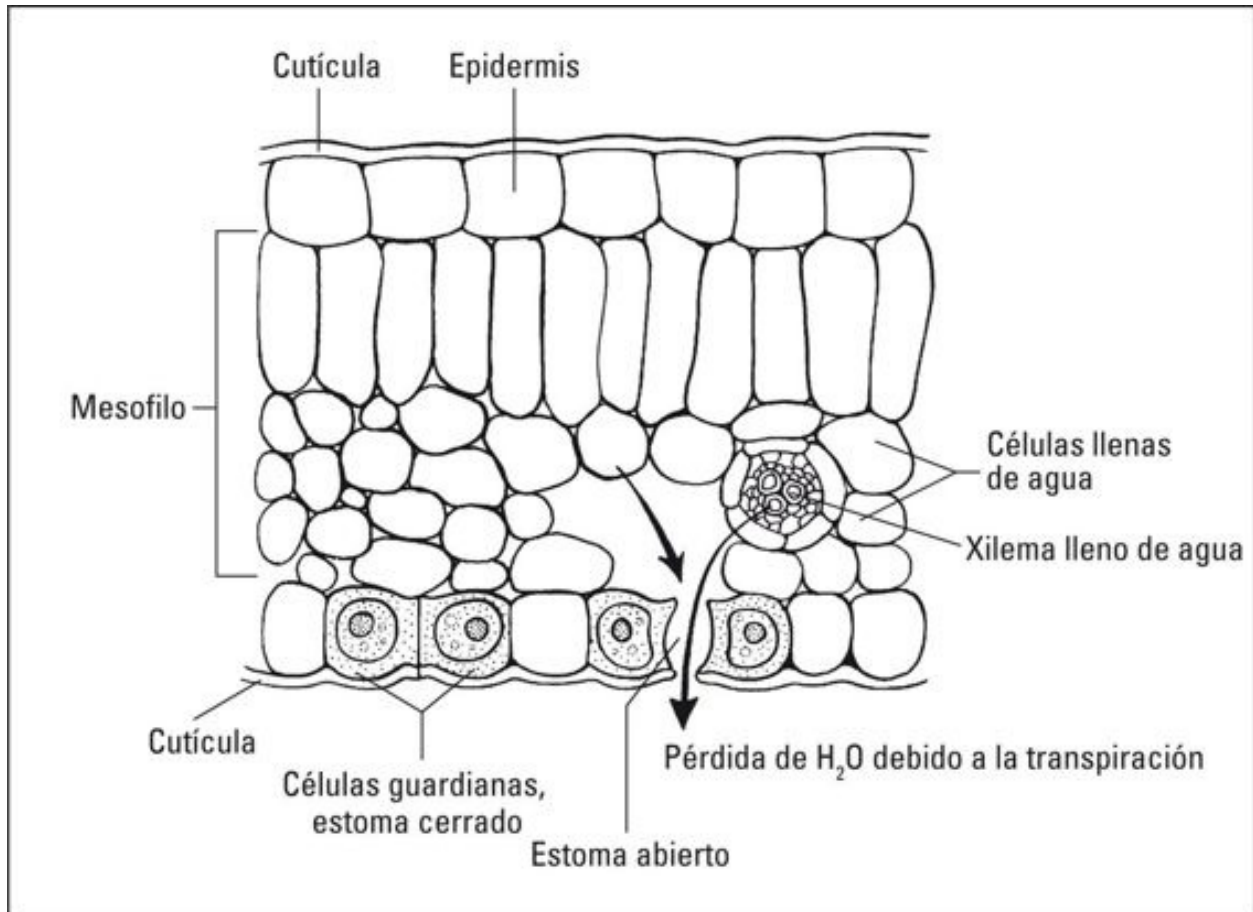


Figura 21-1:

La cutícula y las células guardianas evitan que la planta pierda demasiada agua.

Cuando hace sol y se está llevando a cabo la fotosíntesis, las células guardianas se hinchan como globos y abren los estomas. Por la noche, cuando no hay fotosíntesis, las células guardianas pierden la turgencia y cierran los estomas.

Algunas plantas que viven en ambientes secos y calurosos ahorran agua abriendo los estomas por la noche y almacenando dióxido de carbono en las hojas. Durante el día, cuando la temperatura aumenta y la humedad baja, mantienen los estomas cerrados para evitar la pérdida de agua, y llevan a cabo la fotosíntesis con el dióxido de carbono que han almacenado durante la noche.

Las señales llegan con las hormonas

Las células vegetales se comunican entre ellas a través de las hormonas, que actúan como mensajeros. Son señales químicas que actúan sobre células objetivo y controlan el crecimiento o el desarrollo. Las hormonas vegetales controlan muchos comportamientos de las plantas, por ejemplo la maduración de los frutos, el crecimiento de los brotes hacia arriba y las raíces hacia abajo, el crecimiento de las plantas hacia la luz, la caída de las hojas en otoño, y el crecimiento y la floración en determinadas épocas del año.

El crecimiento y el desarrollo de las plantas está controlado por cinco tipos de hormonas:

- ✓ Las **auxinas** estimulan la elongación de las células del tallo y el *fototropismo* (el crecimiento de las plantas hacia la luz). Si una planta recibe igual cantidad de luz por todos lados, el tallo crece recto. Si la luz se reparte de manera desigual, la auxina se desplaza al lado más oscuro de la planta. Como resultado, ese lado crece más y el tallo se curva hacia la luz. Esta acción mantiene las hojas orientadas a la luz para que la fotosíntesis pueda continuar.
- ✓ Las **giberelinas** inducen la división celular y la elongación celular, para que las plantas se hagan más altas y las hojas más grandes. También envían la señal para que las yemas y las semillas empiecen a crecer en primavera.
- ✓ Las **citoquininas** estimulan la división celular, favorecen la expansión foliar y ralentizan el envejecimiento de las hojas. Los floristas las utilizan para que las flores cortadas duren más tiempo.
- ✓ El **ácido abscísico** inhibe el crecimiento celular y puede cerrar los estomas para evitar la pérdida de agua. En los viveros utilizan ácido abscísico para mantener a las plantas en un estado de inactividad durante el transporte.
- ✓ El **etileno** estimula la maduración de los frutos y, en los árboles caducifolios, envía la señal para que caigan las hojas. Los agricultores utilizan etileno para madurar la fruta antes de venderla.



Algunos de los procesos que dan sabor a la fruta tienen lugar cuando esta se encuentra todavía en la planta. Por lo tanto, aunque el etileno puede inducir ciertos aspectos de la maduración (por ejemplo, hace que la fruta se ablande después de haberla cogido), las frutas que se cogen verdes no saben igual de bien que las frutas que se han dejado madurar en la planta. Por eso a veces compras un tomate grande y hermoso en la verdulería y luego resulta que apenas tiene sabor; probablemente lo cogieron cuando estaba verde y lo trataron con etileno.

Parte VI

Los decálogos

The 5th Wave

Rich Tennant



—Esa fórmula que has puesto no es del todo correcta. Estoy casi seguro de que los hidratos de carbono se componen de carbono, hidrógeno, oxígeno, mantequilla y tocino frito.

En esta parte...

En los libros de la colección Para Dummies, la parte de los decálogos contiene datos que son divertidos o pueden resultarte útiles. Nosotras te ofrecemos ambas cosas. En el capítulo 22 encontrarás diez descubrimientos fascinantes de la biología (naturalmente, el número de descubrimientos importantes es mucho mayor, pero hemos elegido los que más han contribuido a comprender la vida). En el capítulo 23 hay una lista de diez maneras en que la biología influye en tu vida.

En resumidas cuentas: si estás buscando información fácil de digerir y a la vez interesante, ¡estás en la parte correcta!

Capítulo 22

Diez grandes descubrimientos de la biología

En este capítulo

- ▶ Conocer los secretos de la estructura del ADN, los procesos celulares y más
 - ▶ Experimentar para crear vacunas, antibióticos y tratamientos para defectos genéticos
-

Prepárate para conocer diez de los descubrimientos más importantes para la biología hasta la fecha. Los enumeramos sin seguir ningún orden en particular porque todos han tenido una fuerte repercusión en el avance de la biología como ciencia y han contribuido a comprender mejor la vida.

Ver lo invisible

Hasta 1675, la gente pensaba que los únicos seres vivos que existían eran los que podían verse. Ese año, un comerciante de telas holandés llamado Antony Van Leeuwenhoek descubrió el mundo microbiano mirando a través de un microscopio fabricado por él mismo. Van Leeuwenhoek fue la primera persona que vio bacterias, a las que describió como animalillos que se movían por todas partes. Su descubrimiento de un universo nunca observado no solo

puso patas arriba la concepción del mundo de aquel entonces, sino que además sentó las bases para la idea de que los microbios causan enfermedades.

La creación de la penicilina, el primer antibiótico

Era imposible combatir las infecciones por bacterias hasta que Alexander Fleming descubrió las propiedades de la penicilina en 1928. Fleming estaba estudiando una cepa de bacterias estafilocócicas cuando unas placas petri se contaminaron con el hongo *Penicillium*. Para sorpresa de Fleming, en los lugares donde había crecido el hongo las bacterias estafilocócicas habían desaparecido.

A partir de aquel hongo, Fleming obtuvo un compuesto llamado *penicilina* que empezó a utilizarse para tratar las infecciones de los soldados durante la segunda guerra mundial. Poco después de la guerra, aquel “medicamento milagroso” se utilizó para tratar infecciones de la gente en general y eso marcó el inicio de la carrera para descubrir nuevos antibióticos.

Proteger frente a la viruela

¿Sabías que la idea de vacunar a la gente contra enfermedades como la viruela, el sarampión y las paperas surgió en la antigua China? Las costras de personas que habían sobrevivido a la viruela se trituraban y el polvo resultante se introducía en las fosas nasales de personas sanas. Aunque esto pueda parecerte asqueroso, aquellos antiguos sanadores estaban en realidad vacunando a la gente para protegerlos del contagio.

Definir la estructura del ADN

James Watson y Francis Crick (en colaboración con otros investigadores)

descubrieron cómo se codifica la información en la estructura de las moléculas de ADN, y con eso abrieron la puerta a comprender el modo en que el ADN contiene las instrucciones para la síntesis de proteínas. Propusieron que el ADN se compone de dos cadenas de nucleótidos que discurren en direcciones opuestas y se mantienen unidas por los puentes de hidrógeno existentes entre las bases nitrogenadas. Utilizando placas metálicas para representar las bases, construyeron un modelo gigante de ADN que se aceptó como correcto casi inmediatamente.

Encontrar y combatir genes defectuosos

El 24 de agosto de 1989, un grupo de científicos anunciaron que habían descubierto la primera causa conocida de una enfermedad genética: observaron que una pequeña mutación en un gen del cromosoma 7 era la causante de una enfermedad genética mortal: la fibrosis quística. La identificación de este defecto genético y la comprensión de qué causa una enfermedad dieron lugar a la investigación genética. Desde entonces se han aislado los genes causantes de otras enfermedades, por ejemplo la corea de Huntington, formas hereditarias del cáncer de mama, anemia drepanocítica, síndrome de Down, enfermedad de Tay-Sachs, hemofilia y miodistrofia. Actualmente existen pruebas genéticas para detectar si un feto tiene un defecto genético o si dos personas podrían concebir a un hijo afectado. Asimismo, el hecho de conocer las causas de las enfermedades permite a los investigadores concentrarse en la búsqueda de posibles curas.

El descubrimiento de los principios de la genética moderna

Gregor Mendel, un monje austríaco del siglo XIX, utilizó plantas de guisantes para realizar los primeros estudios sobre herencia, que sentaron las bases para la ciencia genética actual. Como las plantas de guisantes tienen varias características fácilmente observables (guisantes lisos frente a guisantes

arrugados, plantas de tallo alto frente a plantas de tallo bajo, etc.), Mendel pudo ver los resultados de sus experimentos de polinización cruzada con variedades distintas.

Mendel descubrió que los factores genéticos se transmiten de los progenitores a sus descendientes y permanecen inalterados en los descendientes, de manera que pueden transmitirse de nuevo a la siguiente generación. Aunque aquellos experimentos se llevaron a cabo antes de descubrirse el ADN y los cromosomas, los principios genéticos de dominancia y segregación independiente que Mendel definió por primera vez continúan utilizándose hoy en día (en el capítulo 7 encontrarás una explicación detallada).

La formulación de la teoría de la selección natural

Tras estudiar durante años las tortugas gigantes y los pinzones de las islas Galápagos, Charles Darwin propuso su famosa teoría de la selección natural (también conocida como *supervivencia del más apto*) en 1859, cuando publicó el libro que lleva por título *El origen de las especies*. El punto más importante de la teoría de Darwin es que los organismos cuyos rasgos están mejor adaptados a las condiciones del medio donde viven tienen más posibilidades de sobrevivir y reproducirse, con lo que transmitirán esos rasgos a las generaciones siguientes. Esas variaciones mejor adaptadas tienden a prosperar en esa zona, mientras que las variaciones peor adaptadas de la misma especie se desenvuelven con más dificultad o acaban muriendo. Por lo tanto, con el paso del tiempo los rasgos observados en una población de organismos en una determinada zona pueden cambiar. La transcendencia de la teoría de la selección natural postulada por Darwin puede verse en la evolución de cepas bacterianas resistentes a los antibióticos.

La formulación de la teoría celular

Un día de 1839, el zoólogo Theodor Schwann y el botánico Matthias Schleiden conversaban sobre sus respectivas investigaciones después de una

cena con amigos. Cuando Schleiden describió las células vegetales que estaba estudiando, a Schwann le sorprendió que fueran tan parecidas a las células animales. Esta similitud entre los dos tipos de células condujo a la formulación de la *teoría celular*, que se compone de tres ideas principales:

- ✓ Todos los seres vivos están hechos de células.
- ✓ La célula es la unidad más pequeña de los seres vivos.
- ✓ Todas las células provienen de células preexistentes.

El descubrimiento de la transferencia de energía por el ciclo de Krebs

El *ciclo de Krebs*, llamado así por el bioquímico británico de origen alemán sir Hans Adolf Krebs, es el proceso metabólico más importante de todos los que se producen en los seres vivos. Da lugar a la transferencia de energía al ATP, que todos los seres vivos utilizan para alimentar las funciones celulares. Definir el modo en que los organismos utilizan la energía a escala celular abrió la puerta a nuevas investigaciones sobre enfermedades y trastornos metabólicos.

Amplificar ADN con la RCP

En 1983, Kary Mullis descubrió la *reacción en cadena de la polimerasa* (RCP), un proceso que permite a los científicos obtener numerosas copias de moléculas de ADN para luego estudiarlas. Actualmente la RCP tiene diversas aplicaciones:

- ✓ Obtener gran cantidad de ADN para secuenciarlo.
- ✓ Encontrar y analizar ADN a partir de muestras muy pequeñas para uso en medicina forense.
- ✓ Detectar la presencia de microbios patógenos en muestras humanas.
- ✓ Producir numerosas copias de genes para ingeniería genética.

Capítulo 23

Diez maneras en que la biología influye en tu vida

En este capítulo

- ▶ Ver cómo la biología explica las cosas más básicas (comida, agua potable y vida)
 - ▶ Descubrir cómo se manipulan organismos para crear genes de diseño, medicinas y muchas cosas más
-

A veces la ciencia parece algo que ocurre en un laboratorio de algún lugar indeterminado, lejos de la vida cotidiana. Quizá sea así, pero los efectos de la investigación científica tienen una enorme repercusión en tu día a día, desde la comida que ingieres hasta la energía que te permite moverte. Aquí tienes una lista de diez maneras en que la biología influye en tu vida. La mayoría son buenas; otras, no tanto. En cualquier caso, más de una te sorprenderá.

Elaboración de alimentos



Si las plantas no produjeran su propio alimento, tú no tendrías nada

que comer. Por lo tanto, la próxima vez que te zampes una buena ensalada o un delicioso filete de ternera, agrádescelo a la fotosíntesis (descrita en el capítulo 5).

Lo que quizá no te hayas parado a pensar es que las plantas no son los únicos organismos que elaboran los materiales que necesitan. Nosotros también lo hacemos. Las personas producen alimentos como yogur, queso, pan, salchichas, encurtidos y otros muchos haciendo fermentar bacterias y levadura.

Enzimas microbianas en la industria

Los microorganismos no solo sirven para producir alimentos; también tienen muchas aplicaciones industriales. Los fabricantes añaden enzimas bacterianas al detergente de lavadora para ayudar a descomponer las manchas de grasa, y ablandadores a los productos cárnicos para ayudar a descomponer las proteínas. Si tomas vitamina C, lo más seguro es que la haya producido un hongo. Si sueles tomar batidos de proteínas, los aminoácidos que contienen probablemente provengan de bacterias. Como ves, no todos los microorganismos son malos. De hecho, algunos de ellos simplifican la vida de los humanos y les echan una mano con la salud.

Diseñar genes

Es bastante probable que los alimentos que comes contengan *organismos modificados genéticamente* (OMG), seres vivos cuyos genes han sido alterados por científicos para conferirles características útiles. Por ejemplo, los cultivos pueden modificarse para que resistan mejor las plagas y los animales pueden someterse a un tratamiento hormonal para aumentar el crecimiento o la producción de leche.

Energía de combustibles fósiles

Los combustibles fósiles que suministran energía a la sociedad moderna son restos de procesos fotosintéticos que tuvieron lugar hace mucho tiempo. Durante el Carbonífero, hace aproximadamente 350 millones de años, las algas microscópicas, las plantas y las bacterias obtuvieron energía del Sol y la transformaron en energía química que almacenaron en sus células. Cuando esos seres murieron, sus restos quedaron depositados de tal forma que acabaron convirtiéndose en carbón, gas natural y petróleo.

Ahora las reservas de combustibles fósiles están empezando a escasear, lo cual supone un problema para la humanidad. Quizás una solución a ese problema consista en imitar a los organismos verdes que hace milenios ya almacenaban energía luminosa. ¡Las personas podríamos hacer como las plantas y usar la energía solar!

Contra las enfermedades infecciosas

Cuando coges una enfermedad infecciosa, por ejemplo un resfriado o una faringitis estreptocócica, tienes que enfrentarte a la reproducción de un invasor. Tu sistema inmunitario entra en acción activando las células necesarias para combatir la invasión e impedir que el virus o la bacteria siga multiplicándose. Asimismo, cada vez que te tomas un antibiótico, te tratas con un fármaco fabricado por un organismo como un hongo o una bacteria.

Seguir con vida



Cada minuto de cada día que estás vivo, tus células lo pasan trabajando en silencio: digieren lo que has comido, mandan señales que controlan tus respuestas, transportan oxígeno por tu cuerpo, se contraen para que puedas moverte y hacen posibles todos tus procesos corporales. Si las células no estuvieran funcionando en todo momento, tus tejidos, órganos y sistemas orgánicos tampoco lo harían.

Depuradoras naturales de agua

Si tienes agua para beber, es gracias a los humedales. Los humedales, o marismas, son zonas que están inundadas la mayor parte del tiempo. Actúan como esponjas naturales, reteniendo el agua y filtrándola despacio. Cuando el agua se filtra lentamente a través de los humedales, las plantas y los microorganismos tienen tiempo para absorber residuos humanos, como por ejemplo fertilizantes y aguas cloacales, con lo que el agua se depura y puede ser consumida de forma segura por personas y otros animales. Todos los seres vivos de la Tierra necesitan agua potable para estar sanos, de manera que los humedales influyen bastante en tu calidad de vida. Por desgracia, el desarrollo urbanístico y la exploración petrolífera ejercen una presión terrible sobre los humedales, que están desapareciendo muy de prisa.

Otra manera en que los seres vivos ayudan a mantener el agua limpia es mediante el tratamiento de aguas residuales. Las bacterias descomponen la materia orgánica de las aguas negras y ayudan a depurarlas antes de devolverlas al medio.

El control de los cambios

Lo más seguro es que en algún momento de tu vida hayas estado o vayas a estar *dominado* por las hormonas. Un ejemplo: conoces a alguien que te atrae, las señales provocan la liberación de hormonas, y de repente tu mente consciente deja de tomar todas las decisiones. Si ese ejemplo del poder de las hormonas no te convence, acuérdate de cuando estabas en plena pubertad. En aquella época tu cuerpo experimentó una increíble transformación que se basó única y exclusivamente en las señales de estos potentes mensajeros químicos.

Bacterias resistentes a los antibióticos

Cuando la gente toma antibióticos, las bacterias sensibles son las primeras en morir, mientras que las células más resistentes permanecen con vida. Esas células superresistentes se multiplican. Si tal situación se repite una y otra vez,

con el tiempo hay poblaciones enteras de bacterias que acaban desarrollando resistencia a los antibióticos. Esto explica por qué a veces los médicos no disponen de medicamentos para ayudar a personas infectadas por una bacteria resistente a los antibióticos, por ejemplo el *MRSA* (iniciales en inglés de *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina).

La amenaza de un mundo menos diverso

A lo mejor no piensas mucho en la extinción de especies, pero es algo que merece la pena tener en cuenta. Si quieres un ejemplo, ahí tienes a los osos polares. Debido al incremento de la temperatura global, los hielos polares se están derritiendo y el hábitat de los osos polares tiene una extensión cada vez menor. Aunque no se hable mucho del tema, hay 1.900 especies vegetales y animales en peligro de extinción.



Las personas estamos destinando cada vez más terrenos y más recursos a nuestros fines, y el resto de los organismos de la Tierra cada vez tienen menos espacio para vivir. Las especies necesitan unas condiciones y unos recursos determinados para prosperar, pero la vida de gran consumo de recursos en el primer mundo, combinada con el aumento de la población mundial, suponen una seria amenaza para muchos ecosistemas. Esto son malas noticias para los seres humanos, ya que nuestra propia supervivencia depende de la salud de los ecosistemas. Por ejemplo, el desarrollo urbanístico en las regiones costeras reduce considerablemente el tamaño de los estuarios, donde se reproducen muchas especies de peces. Esta pérdida de zonas de reproducción tiene como resultado que disminuya la cantidad de peces en los océanos, lo cual es malo para la vida marina y para las personas (hasta el 80 por ciento de las especies de peces que se pescan comercialmente viven durante algún tiempo en estuarios).

Biología para Dummies

Rene Fester Kratz, Donna Rae Siegfried

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal)

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita reproducir algún fragmento de esta obra.

Puede contactar con CEDRO a través de la web www.conlicencia.com o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47

Título original: *Biology for Dummies (2n Edition)*

© Rene Fester Kratz, Donna Rae Siegfried, 2010

© de la ilustración de la portada, Shutterstock

© de la traducción, Alfredo García Espada, 2013

© Centro Libros PAPF, SLU, 2014

Grupo Planeta

Avda. Diagonal, 662-664

08034 - Barcelona

Primera edición en libro electrónico (epub): febrero de 2014

ISBN: 978-84-329-0220-8 (epub)

Conversión a libro electrónico: Victor Igual, S.L.

www.victorigual.com